Friedrich-Wilhelm Hagemeyer

DIE ENTSTEHUNG VON INFORMATIONSKONZEPTEN IN DER NACHRICHTENTECHNIK

Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Technik in Industrie- und Kriegsforschung

Dissertation Berlin 1979

Inhalt

I EINLEITUNG UND INTERPRETATION 6

1. EINLEITUNG 6
1.1 GEGENSTAND DER ARBEIT 6
1.2 ZUR METHODE 7

2. TECHNIK, FORSCHUNG, THEORIEBILDUNG 9
2.1 EIN EVOLUTIONSMODELL DER TECHNISCHEN ENTWICKLUNG 10
2.2 DIE FORSCHUNGSORGANISATION (FO) ALS GRUNDLEGENDE EINHEIT 12
2.3 BEISPIELE AUS DER FALLSTUDIE 15
2.4 STRATEGIEN VON FORSCHUNGSORGANISATIONEN, MARKT- UND KONTRAKTZYKLUS 24
2.5 THEORIEN IN DER TECHNIK 26
2.6 DIE INFORMATIONSTHEORIEN 30
2.7 STRATEGIEN VON FORSCHUNGSORGANISATIONEN UND WISSENSCHAFTSENTWICKLUNG 32

3. PHYSIK, NACHRICHTENTECHNIK, MATHEMATIK 36
3.1 PHYSIK, MATHEMATIK UND NACHRICHTENTECHNISCHE FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG 36
3.2 PHYSIKALISCHE UND MATHEMATISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE 40
3.2.1 DENNIS GABOR UND CLAUDE SHANNON 40
3.2.2 TECHNISCHE UND THEORETISCHE MODELLE 40
3.3 PHYSIK UND INFORMATIONSTHEORIE 44

II INDUSTRIEFORSCHUNG UND TECHNIK (1924-1939) 47

1. DIE FORSCHUNG 47
1.1 GRÖSSE UND BEDEUTUNG NACHRICHTENTECHNISCHER FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSORGANISATIONEN 47
1.2 DIE POSITION DER AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY IM FERNMELDEWESEN 53
1.3 DIE POSITION VON F+E IN DER AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY 59
1.3.1 FORSCHUNG IN DEN BELL TELEPHONE LABORATORIES 63
1.3.2 DIE ABTEILUNG »TRANSMISSION RESEARCH« DER BELL TELEPHONE LABORATORIES 66
1.3.3 THEORIEBILDUNG IM DEPARTMENT OF DEVELOPMENT AND RESEARCH DER AT&T 69

2. DIE TECHNIK 73
2.1 TELEGRAFIE, TELEFONIE, RUNDFUNK 73
2.1.1 VERSCHIEDENE NACHRICHTENTECHNIKEN 73
2.1.2 TELEGRAFIE UND TELEFONIE 74
2.1.3 EFFIZIENZFORDERUNGEN 77
2.2 DIE TELEGRAFIE 78
2.2.1 ENTWICKLUNG DES VERKEHRS 78
2.2.2 ENTWICKLUNG DER TECHNIK 79
2.2.3 ENTWICKLUNG DES FACHGEBIETES 88
2.3 DIE TELEFONIE 90
2.3.1 ENTWICKLUNG VON VERKEHR UND TECHNIK 90

2.3.2 PROBLEMK0MPLEXE IN DER TELEFONIE 94
2.3.3 ENTWICKLUNG DES FACHGEBIETES 103
2.4 DER RUNDFUNK 105
2.4.2 ÜBERTRAGUNG 107
2.4.3 NEUBEWERTUNG DER FREQUENZMODULATION 110
2.4.4 SYSTEMPROBLEME DES RUNDFUNK 114
2.4.5 DAS FERNSEHEN 117
2.5 DIE ENTWICKLUNG DES FACHGEBIETES »FERNMELDETECHNIK« 120
2.6 ZUSAMMENFASSUNG 129

3. DIE THEORIE *131*
3.1 H. NYQUIST: TELEGRAFENTHEORIE 131
3.1.1 »CERTAIN FACTORS AFFECTING TELEGRAPH SPEED«; 1924 131
3.1.2 »CERTAIN TOPICS IN TELEGRAPH TRANSMISSION THEORY«: 1928 136
3.1.3 IDEALE VERSUS REALE TELEGRAFENSYSTEME 140
3.2 R. V. HARTLEY: INFORMATIONSKONZEPT 143
3.2.1 HARTLEYS ARBEITEN IN DER NT 143
3.2.2 DAS LOGARITHMISCHE INFORMATIONSMASS 146
3.2.3 DER PHILOSOPHISCHE HINTERGRUND 150
3.2.4 DIE EINBEZIEHUNG DER TELEFONIE 152
3.2.5 DIE ÜBERTRAGUNGSKAPAZITÄT 156
3.2.6 DIE GESTÖRTE ÜBERTRAGUNG 158
3.2.7 DIE WIRKSAMKEIT 161
3.3 DIE DEUTSCHEN AUTOREN: ZEITGESETZ DER ELEKTRISCHEN NACHRICHTENÜBERTRAGUNG 166
3.3.1 KARL KÜPFMÜLLER 167
3.3.2 LÜSCHEN, STRECKER, SCHMIDT 171
3.4 ZUSAMMENFASSUNG 176

III Kriegsforschung und Mathematik (1940-1948) **177**

1. FORSCHUNG UND AUSBILDUNG *177*
1.1 ORGANISATION DER KRIEGSFORSCHUNG IN DEN USA 178
1.1.1 DIE ZIVILE KRIEGSFORSCHUNGSBEHÖRDE NDRC 181
1.2 MATHEMATISCHE FORSCHUNG UND AUSBILDUNG 188
1.2.1 DER BEREICH DER FEUERLEITUNG 190
1.2.2 FORSCHUNG UND AUSBILDUNG IN ANGEWANDTER MATHEMATIK UND STATISTIK 197
1.2.3 WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG UND AUSBILDUNG 206
1.3 NACHRICHTENTECHNISCHE FORSCHUNG UND AUSBILDUNG 208
1.3.1 BELL TELEPHONE LABORATORIES 209
1.3.2 RADIATION LABORATORY DES MASSACHUSSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY 212
1.3.3 AUSBILDUNG 215
1.4. MATHEMATISCHE FORSCHUNG IN DER FERNMELDETECHNIK: BELL TELEPHONE LABORATORIES, MATHEMATICAL RESEARCH 220
1.4.1 EINFLÜSSE AUF DIE MATHEMATIK IN DER KRIEGSFORSCHUNG 221
1.4.2 DER BESONDERE CHARAKTER MATHEMATISCHER FORSCHUNG 222
1,4.3 ÜBERGANG VON DIENSTLEISTUNG ZU THEORETISCHER FORSCHUNG 224

2 DIE TECHNIK *229*
2.1 DIE FERNMELDETECHNIK WÄHREND DES KRIEGES 229
2.2 DAS RADAR 231
2.2.1 ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND TECHNISCHER TREND 232
2.3 FEUERLEITUNG 236

2.3.1 DAS FEUERLEIT-PROBLEM 238
2.3.2 KOMMANDOGERÄTE UND COMPUTER 239
2.3.3 VORHERSAGETHEORIEN 242
2.3.4 DIGITALES KOMMANDOGERÄT 244
2.3.5 SERVOMECHANISMEN 246
2.4 DIE FERNMELDETECHNIK 248
2.4.1 STRATEGISCHE NACHRICHTENNETZE 249
2.4.2 OPERATIVE NACHRICHTENSYSTEME 256
2.4.3-ÜBERTRAGUNGSTECHNIK 260

3. DIE THEORIE UND DIE THEORETIKER *266*
3.1 DENNIS GABOR: PHYSIKALISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE 267
3.1.2 »THEORY OF COMMUNICATION« 269
3.1.3 HOLOGRAFIE 273
3.1.4 UNMITTELBARE REAKTIONEN UND GÜLTIGKEITSBEREICH DER TOC 274
3.2 KOMMUNIKATIONSMODELLE VON NACHRICHTENTECHNIKERN 276
3.2.1 A.G. CLAVIER, R.V.L. HARTLEY, 5. OKADA, W.G. TULLER: DIE AKTUALISIERUNGEN DES HARTLEY-LAW 278
3.2.2 C.W. EARP, J. WESTON, K. KÜPFMÜLLER, M. MEINESZ – NICHT-HARTLEY'SCHE KOMMUNIKATIONSKONZEPTE 281
3.3 NORBERT WIENER: STATISTISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE UND KYBERNETIK 285
3.3.1 VORHERSAGETHEORIE UND KYBERNETIK 286
3.4 CLAUDE SHANNON: MATHEMATISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE 289
3.4.1 ERSTE ÜBERLEGUNGEN ZU EINER KOMMUNIKATIONSTHEORIE 290
3.4.2 GRUNDKONZEPTE DER SHANNONSCHEN INFORMATIONSTHEORIE 292
3.4.3 KRYPTOLOGIE UND INFORMATIONSTHEORIE 294
3.5 ZUSAMMENFASSUNG 301

IV DIE WEITERE ENTWICKLUNG NACH DEM KRIEG **305**

1 STAATLICHE FORSCHUNGSFÖRDERUNG *305*

2. INDUSTRIEFORSCHUNG *309*

3. DER INFORMATIONSTHEORETISCHE FACHDISKURS *313*
3.1 PUBLIKATIONEN 313
3.2 MITGLIEDSCHAFT IN DER FACHGRUPPE 317

ANHANG **320**

I. NACHRICHTENTECHNISCHE FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND ZWISCHEN DEN WELTKRIEGEN *320*

1. DAS TELEGRAPHENTECHNISCHE REICHSAMT (TRA) DER POST *320*

2. DAS HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG (HHI) *326*

3. FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG BEI SIEMENS *327*
3.1 F+E IM UNTERNEHMEN 327
3.2 DAS ZENTRALLABORATORIUM FÜR FERNMELDETECHNIK 329

II. STAND DER TELEGRAFENTHEORIE IM BELL SYSTEM 1934 *335*

III. ZU DER METHODE DER AUSZÄHLUNG DER BIBLIOGRAFIEN *337*

IV DIE »WIEDERENTDECKUNG« DES »HARTLEY-LAW« *339*
1. L. ESPENSCHIED (BTL) AN W.C. WHITE (GENERAL ELECTRIC); 9.6.1949 (ESPENSCHIED C0LLECTION, SMITHSONIAN INSTITUTION WASHINGTON, D.C.) 339
2. W.C. WHITE AN L ESPENSCHIED (16.6.1949) 339

V. DIE WISSENSCHAFTLICHE LAUFBAHN CLAUDE SHANNONS 341

1. DAS DIFFERENTIAL ANALYZER PROGRAM 341

2. THEORETISCHE GENETIK 343

3. ERSTE TÄTIGKEIT IN DEN BTL 346

4 DIE KRIEGSFORSCHUNG 347

5. DIE WISSENSCHAFTLICHE BIOGRAFIE 349

6. PERSÖNLICHE CHARAKTERISTIKA 350

VI SHANNON'S FRÜHE ARBEITEN IN GENETIK UND NACHRICHTENTHEORIE 353

1. ERSTER ANSATZ ZUR ENTWICKLUNG EINES ALLGEMEINEN KOMMUNIKATIONSMODELLS 353
BRIEF AN VANNEVAR BUSH; 15.2.1939. AUSZUG 353

2. DIE BEWERTUNG DER »GENETISCHEN ALGEBRA« 355

VII. ZAHLENWERTE ZU DEN DIAGRAMMEN 357

1. ZU DIAGRAMM II.1 357

2. ZU DIAGRAMM II.4 357

3. ZU ABBILDUNG I.7 und DIAGRAMM II.5/6/7/8 358

4. ZU DIAGRAMM III.3 358

5. ZU DIAGRAMM III.4 358

6. zu Teil IV.3 359

QUELLENANGABEN 361

1. UNPUBLIZIERTE QUELLEN 361
A. DIE NATIONAL-ARCHIV-AKTEN 361
B. INTERVIEWS IN DEN USA 364
BELL LABORATORIES (BTL) 364
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT) 365
ANDERE 365
C. INTERVIEWS IN EUROPA 365
DEUTSCHLAND 365
ENGLAND 365
D. ANDERE UNPUBLIZIERTE QUELLEN 366

2. Literatur 368

LEBENSLAUF 405

I EINLEITUNG UND INTERPRETATION

1. EINLEITUNG

1.1 GEGENSTAND DER ARBEIT

Gegenstand dieser Arbeit ist die Entstehung der Informationstheorie in der Nachrichtentechnik.

Gemessen am theoretischen Umfang der Nachrichtentechnik ist dieser Aspekt winzig, so mußten beispielsweise selbst so nahe damit verwandte Gebiete wie Filtertheorie oder Automatentheorie von der Untersuchung ausgeschlossen werden.

Gemessen aber am Einfluß theoretischer Nachrichtentechnik auf andere natur-, technik- und sozialwissenschaftliche Gebiete ist der hier untersuchte Gegenstand von weitaus größerer Bedeutung. Im allgemeinen kann man heute kaum über den Begriff der »Information« exakt reden, ohne das Shannon'sche Modell der Kommunikation (1948) zu implizieren. Es gibt jedoch auch heute einige Bereiche der Technik und der Physik, wo zumindest ein anderes Informationskonzept Anwendung findet, das auf Gabor (1946) zurückgeht. Beide Theorien haben in der Nachrichtentechnik dieselben Wurzeln.

Das erste Ziel dieser Untersuchung ist es, die Entstehungsweise dieser (und einiger anderer) Informationskonzepte als Resultat von besonderen Forschungsbedingungen und -strukturen, unter denen die Autoren arbeiteten, als Resultat der technischen Probleme und Problemkombinationen, mit denen sie es zu tun hatten, und als Resultat der theoretischen Modelle und Methoden, die ihnen zur Verfügung standen, darzustellen.

Mit der Analyse auf diesen Ebenen lassen sich zwei interne Fragen der Entwicklung der Informationstheorie beantworten: die Frage nach den Gründen für die Konzentration großer Teile dieser Entwicklung auf die Forschung der American Telephone und Telegraph Co. und die nach den Gründen für ihre zeitliche Konzentration auf die End-zwanziger und End-vierziger Jahre dieses Jahrhunderts. Das vorrangige Ziel dieser Fallstudie ist es jedoch, möglichen weiteren Untersuchungen zur Theoriebildung in der Technik eine empirisch gehaltvolle Untersuchung an die Hand zu geben, die nicht im Hinblick auf eine spezielle Hypothese, welche über die Annahme der Bedeutung der drei genannten Analyseebenen hinausginge, eingeschränkt ist.

Dennoch darf bereits die Darstellung dieser drei Ebenen für die Entstehung einer Theorie in der Technik für sich einen gewissen Neuheitswert beanspruchen, da in der Wissenschaftssoziologie zumeist die Entwicklung von Teilgebieten klassischer wissenschaftlicher Disziplinen untersucht wird, in der Analyse von Forschungsorganisationen meist nach deren praktisch innovativen, nicht aber theoretisch/wissenschaftlichen Ergebnissen gefragt wird und bei der Darstellung der Entwicklung von wissenschaftlichen Theorien im allgemeinen erst mit dem Stadium begonnen wird, in dem interne und externe Bedingungen die Verfolgung einer gewissen Eigengesetzlichkeit der Theorie erlauben.

Gerade an diesem Punkt schließt diese Untersuchung. Sie befaßt sich mithin mit der »vorparadigmatischen« Phase der Theoriebildung (Böhme, van den Daehle; 1977), in der eben gerade die Einflüsse von Technik und Forschungsorganisation noch spürbar sind und den Rahmen für die Gestalt der Theorie prägen. Obwohl die empirische Darlegung eines Falles der Hauptzweck dieser Untersuchung ist,

soll doch auch bereits der Versuch unternommen werden, einige mögliche Generalisierungen vorzunehmen und Hypothesen zu äußern, die allerdings nicht beanspruchen, den Fall insgesamt zu »erklären« oder alle darin enthaltenen Probleme zu lösen. (I.2).

Erstes und deutlichstes Kennzeichen der Entwicklung, die zur Informationstheorie führte, ist, daß der Zweite Weltkrieg als eine von außen auf die beteiligten Forschungsorganisationen aufgeprägte Änderung von deren Forschungs- und Entwicklungsprogrammen von so schnellem und durchgreifendem Einfluß auf die wissenschaftlich/technische Entwicklung war, daß man mit einiger Berechtigung von einer »induzierten« wissenschaftlichen Revolution sprechen kann (I.2).

Diese Phase des Übergangs von der Industrie- zur Kriegsforschung wie sie die Entstehung der Informationstheorie und der Voraussetzungen für deren Verbreitung charakterisiert, wird allgemein als eine für die Beziehungen zwischen Wissenschaft und Technologie entscheidende Umbruchsphase angesehen. Sie brachte den Wechsel von der Phase einer vorwiegend einseitig gerichteten Beeinflussung der Technik durch die Wissenschaft zu einer engen Verzahnung beider Bereiche (Spiegel-Rösing; 1973:115).

In dieser Studie wird deutlich, daß der entscheidende Faktor dafür der Beginn »interinstitutioneller« staatlicher Projektförderung war.

Der Zweite Weltkrieg beschleunigte Trends, die in unterschiedlichem Ausmaß bereits angelaufen waren, in radikaler Weise:

Forschungsfinanzierung durch den Staat für Industrie- und Großforschungszentren der Hochschulen schuf Forschungsbedingungen, die es erlaubten, auch in der Technik theoretischen Fragen ohne Rücksicht auf unmittelbare praktische Nutzanwendung nachzugehen. Die Rolle angewandter Mathematik und Statistik in der technischen und industriellen Forschung wuchs und damit beschleunigte sich die Bildung mathematischer Theorien in der Technik. In der Nachrichtentechnik wurde dabei die Physik als die alleinige Quelle theoretischer Methoden und Modelle verdrängt.

Die wachsende Bedeutung digitaler Nachrichtenübertragung und -verarbeitung veränderte die theoretischen Grundlagen der Ausbildung von Elektroingenieuren von Infinitesimal-, Feld- und energetischen Modellen zu den Strukturmodellen von Wahrscheinlichkeitstheorie und Algebra.

Trotz der besonderen Bedeutung des Zweiten Weltkrieges für diese Entwicklung soll mit der ausführlichen Analyse der Forschung in den BeIl Laboratorien der AT&T zwischen den Weltkriegen gezeigt werden, daß ein Trend zu Inforrnationsrnodellen in der Nachrichtentechnik bereits vorher bestanden hatte, der Begriff der »theory of information« bereits vor dem Zweiten Weltkrieg geprägt worden war.

1.2 ZUR METHODE

Für eine Darstellung des so abgegrenzten Gebietes konnte kaum auf umfangreiche Primärstudien zurückgegriffen werden, mit Ausnahme einiger nach dem Zweiten Weltkrieg über die Forschung in der US-Kriegsforschungsbehörde (NDRC) veröffentlichter Serien und Sammelbände von begrenzter Zugänglichkeit.

Klassische Geschichten der Nachrichtentechnik konzentrieren sich zumeist auf die Zeit vor 1920[1] oder auf einzelne Techniken[2]. In den Darstellungen der Kriegs-Nachrichtentechnik dominiert das Radar[3],

[1] Marland (1964)

und Unternehmensgeschichten betreffen meist zu große technische oder organisatorische Bereiche, um hier von speziellem Nutzen sein zu können.[4]

So erwies es sich als erforderlich, auf eine große Zahl bislang unpublizierter Archivbestände in Deutschland und den USA, auf die Analyse zeitgenössischer Zeitschriftenartikel, auf Reports, Kongreßberichte und persönlich durchgeführte Interviews zurückzugreifen.

Die kürzeren und längeren Phasen dieser Arbeit, ihre Schwerpunkte reflektieren so auch die Materialsituation.

Fragen, die sich nur aufgrund neuen Materials klären ließen, beanspruchen so u. U. mehr Raum als solche, die aufgrund bekannten Materials beantwortet werden konnten – obwohl sie nicht immer inhaltlich gewichtiger sind als letztere.

Extremstes Beispiel mag dafür die Behandlung der Shannon'schen Informationstheorie selbst sein, die gewissermaßen der Hintergrund ist, auf dem die gesamte Arbeit gesehen werden muß, die aber als Kern eines ganzen wissenschaftlichen Diskurses nur kurz inhaltlich behandelt wird.

Den meisten größeren Abschnitten ist in wenigen Sätzen (kursiv) eine Zusammenfassung des Folgenden vorangestellt. Abbildungen, Diagramme, Tabellen laufen in ihrer Numerierung jeweils über einen Teil (A.). Bei den Literaturangaben betreffen genaue Daten (wie z. B. Lüschen (23.2.1931) unveröffentlichte Memoranda und Angaben des Typs »Shannon« (1977:3/585) bezeichnen die jeweiligen Stellen auf den Interview-Tonkassetten im Archiv des Autors. Zahlenfolgen in Klammern im Text oder in Anmerkungen – wie (II.3.3) – bezeichnen Verweise auf die entsprechenden Abschnitte der Untersuchung.

---

[2] Telegrafie: Thompson (1947), Funktechnik: MacLaurin (1949)
[3] Postan (1964)
[4] Siemens: Siemens (1961), Beil: Fagen (1976 und 1978); diese beiden Bände erwiesen sich allerdings z.T. als sehr gut verwendbar für die vorliegende Untersuchung.

2. TECHNIK, FORSCHUNG, THEORIEBILDUNG

Die Behandlung der Theoriebildung in der Technik hat der Untersuchung wissenschaftlicher Theoriebildung allgemein gegenilber einen gewichtigen Vorteil (die Unterschiede manifestieren sich in unterschiedlichen Forschungsbedingungen und -strukturen, in denen die beteiligten Autoren arbeiten): man kann eine von der Theorie hinreichend *unabhängige* Ebene der *Problemgenerierung* und der *Leistungsbewertung* von Theorien angeben, d. h. interne und externe Faktoren sind deutlicher unterscheidbar. In einigen Modellen zur Wissenschaftsentwicklung ist der Gedanke der Separierung der Mechanismen von »Variation und Selektion« von Theorien mehr oder weniger explizit enthalten, Toulmin z. B. war es, der in Kritik an dem Kuhn'schen Modell ein solches Konzept forderte.[5] In der Lakatos'schen »Methodologie von Forschungsprogrammen« ist die Trennung nicht ganz so eindeutig, die »positive Heuristik« eines Forschungsprogramms enthält sowohl die Regeln zur Veränderung der theoretischen Modelle[6] als auch Teile der Problemstellung, die die Richtung der Theorienreihe vorgibt, andererseits entscheidet die Instanz der »positiven Problemverschiebung« über die Auswahl zwischen verschiedenen theoretischen Modellen. Vollkommen verschmolzen sind die Dimensionen der Leistungsbewertung von Theorien und ihrer Veränderungsmethoden in den Kuhnschen Begriffen des Paradigma[7] oder der »disziplinären Matrix«, die sowohl Leistungskriterien (d. h. z. B. grundlegende Problemstellung) als auch Arbeitsmethoden der Theorieproduktion einer Forschergruppe als Einheit beschreiben.[8]

Die jeweiligen idealtypischen Bewegungen der Wissenschaft sind *Verfolgung von Forschungsprogrammen* und *Wechsel von Forschungsprogrammen* (Lakatos) – wobei unklar ist, worauf die »größere positive Problemverschiebung« des siegreichen Forschungsprogramms bezogen ist, d. h. was die *Konstante* einer solchen Bewegung ist. Eben dies ist unklar bei dem Typ »revolutionäre Wissenschaft«, der nach Kuhn einen *Paradigmawechsel* mit sich bringt. Ansonsten innerhalb »normaler Wissenschaft« oder bei »Verfolgung eines Forschungsprogramms« sind die Konstanten der wissenschaftlichen Aktivitäten klarer. Auf diesen Punkt wird weiter unten noch einmal zurückzukommen sein.

Das Stadium vorparadigmatischer Theorieentwicklung, wie es in dieser Fallstudie untersucht wird, hat den Vorteil, daß es nicht die Probleme der Theorie selbst waren, die das weitere Forschungsprogramm vorantrieben, sondern vielmehr die Probleme der technischen Entwicklungsprogramme, in deren Kontext die Theoriebildung stattfand. Zusätzlich ideale Randbedingung des untersuchten Falls ist, daß nahezu alle wesentlichen Stufen der Theorie in dieser Phase innerhalb der technischen Forschung *eines* Unternehmens erschienen (II.1.2).

Diese bislang in der Wissenschaftsforschung etwas stiefmütterlich behandelte Phase von Theoriebildung[9] erweist sich damit als ein Sonderfall, der wegen der leichteren Separierbarkeit von Variationsmechanismen und Selektionskriterien vielleicht eher Aufschluß über deren Zusammenspiel gibt, als es die Untersuchung komplexerer Fälle erlaubt.

Um das am Beispiel der Fallstudie zu verdeutlichen: Erst mit der Shannon'schen Theorie und unter den neuen Forschungsbedingungen nach dem Zweiten Weltkrieg definierte eine Nachrichtentheorie ein eigenes theoretisches Forschungsprogramm (und bestanden die Voraussetzungen zu dessen Verfolgung). Sie enthielt mit dem Codierungsproblem einen Kern »positiver Heuristik«, gab gewisse algebraische und statistische Methoden zur Entwicklung theoretischer Modelle vor und sicherte so ihr Wachstum ohne unmittelbaren Bezug zu technischen Problemen und deren Lösung.

---

[5] In Toulmin (1972:123) oder (1974)
[6] Lakatos (1974:131 ff.)
[7] Kuhn (1973)
[8] Kuhn (1972:287)
[9] Dies konstatieren Böhme, van den Daehle (1977)

Zuvor jedoch, d. h. in der hier untersuchten Phase, dominierten die technischen Entwicklungsprogramme die Theoriebildung. Damit verschiebt sich das Problem auf deren geeignete Beschreibung und Analyse.

Die Frage, die zuerst beantwortet werden muß, ist, ob sich fiir technische Entwicklungsprogramme die Mechanismen der Variation und die Kriterien der Selektion deutlicher voneinander trennen lassen, als bei wissenschaftlichen Forschungsprogrammen.

Die These ist an dieser Stelle, daß sich für die in diesem Fall interessierenden technischen Entwicklungsprogramme mit Hinblick auf die kommerzielle (Industrieforschung) oder militärische (Kriegsforschung) Nutzung der resultierenden Techniken eine solche Trennung hinreichend begründen läßt.

Dazu ist es zunächst notwendig, einige Definitionen und vereinfachende Klarstellungen vorzunehmen.

2.1 EIN EVOLUTIONSMODELL DER TECHNISCHEN ENTWICKLUNG

In gewisser Anlehnung an den Lakatos'schen Begriff des »Forschungsprogramms« sei der Begriff des technischen Entwicklungsprogramms eingeführt.

Danach besteht ein technisches Entwicklungsprogramm aus einer Reihe technischer Modelle sowie den Verfahren, diese zu konstruieren und abzuwandeln, einerseits und einem Komplex von Leistungsanforderungen an diese Modelle andererseits bzgl. derer »schlechtere« von »besseren« Modellen unterschieden werden können.

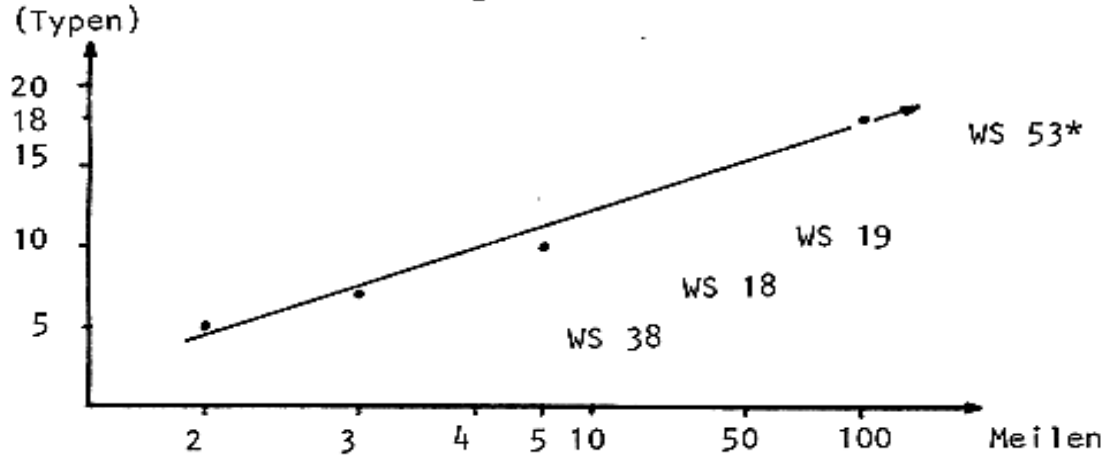
Darin sind einige andere Begriffe enthalten bzw. folgen daraus. Unter einem *technischen Modell* sei ganz allgemein eine *(An)Ordnung von physischen Objekten* verstanden; eine *Technik* sei im simpelsten Fall *ein derartiges Modell* und *Methoden und Verfahren zu dessen Konstruktion und Veränderung*.

Der Komplex der Leistungsanforderungen an die technischen Modelle sei hier deren *Effizienzbereich* genannt. Solche Effizienzanforderungen können von ganz einfachen, wie sie zur Zeit der klassischen Telegrafie z. B. vor allem in der Erhöhung der Telegrafiergeschwindigkeit bestanden (II.2.2.3) oder wie sie sich z. B. für Funkgeräte der kämpfenden Einheiten im Zweiten Weltkrieg in der Erhöhung der Mobilität realisierten, zu viel komplexeren Anforderungen an Operation, Produzierbarkeit, Tempo der Entwickelbarkeit etc. reichen.

Musterbeispiel für die Gesamtstruktur eines solchen Effizienzbereiches ist das von der britischen Armee im Zweiten Weltkrieg entwickelte System von Funkgeräten für die operative Nutzung (III.4.2.2). Für den Einsatz in der elementaren Kampfsituation auf der untersten Ebene der militärischen Hierarchie bei kurzen Reichweiten dominierte die Forderung nach Mobilität alle anderen Leistungskriterien. Je größer die Reichweite, je mehr Nachrichtenverkehr die Systeme zu bewältigen hatten, desto größer der Einfluß anderer Faktoren für die Bewertung der Leistung der Geräte, wie technische und strukturelle Abhörsicherheit, Tag-Nacht-Abhängigkeit, Störsicherheit etc. Abbildung 1 zeigt die Anzahl der während des zweiten Weltkrieges entwickelten Modelle in Abhängigkeit von ihrer wachsenden strategischen Bedeutung (d. h. der wachsenden Zahl von Effizienzanforderungen), als deren Index ihre Reichweite angegeben wurde. Diese Folge stimmt auch mit dem auf jeweils höherer militärischer Ebene getroffenen Einsatz oder mit der jeweils sendbaren Nachrichtenmenge überein. Dies Beispiel zeigt, daß in überschaubaren Effizienzbereichen relativ wenige Modelle bereits Optimierung der Technik erlauben, während unter komplexeren Anforderungen ein weitaus größeres Modellspektrum zur Optimierung aller möglichen Einsatzweisen entwickelt werden muß. Bereits in diesem Fall eines komplexen Effizienzbereiches wird deutlich, daß ein einzelnes Modell all diese Bedingungen gleich-

zeitig nur schwer erfüllen kann, die Modellvielfalt ist die schnellste Antwort auf die Anforderungen eines komplexen Effizienzbereiches.

ABBILDUNG 1: Effizienzforderungen und Modellvielfalt - das Beispiel der britischen Armee-Funksysteme im 2. Weltkrieg (III.2.4.2.2)



* Die Bezeichnungen der jeweiligen Typenreihen

Mit diesen Begriffen kann man ein *technisches Problem* als bestimmt durch eine *Ausgangstechnik* (technische Modelle und Verfahren ihrer Konstruktion) und einen *Effizienzbereich* bzgl. dessen sie optimiert werden muß, auffassen.

Diese Definition ist nicht allzu weit von gängigen Definitionen entfernt, wie z. B. die folgende zeigt:

> »Unter einem ›technischen Problem‹ … versteht man die Feststellung einer zu realisierenden Funktion, wobei es die Aufgabe ist, die Mittel zur Realisierung dieser Funktion zu entwickeln und entsprechend einzusetzen.« (Bühl; 1974:271)

Die hier verwendete Definition macht allerdings einige Punkte klarer, z. B., daß ein solches Problem immer das Vorhandensein einer Ausgangstechnik zur Voraussetzung hat, die nach Maßgabe des Effizienzbereiches in eine diesem optimal angepaßte entwickelt werden muß, und sie impliziert das Evolutionsmodell, indem sie Selektionskriterien und Variationsmechanismus trennt. Der Begriff des Effizienzbereiches basiert auf dem Modell des Qualitäts-Parameterraumes, wie er z. B. von Rechenberg (1973) für die quantitative Beschreibung technischer Optimierungsverfahren verwendet wurde.

Betrachtet man die technische Entwicklung durch Forschungsorganisationen, die auf die praktische Verwertung dieser Technik ausgerichtet sind, so sind Effizienzbereich und Nutzungsbereich synonym. Für den weiteren Sonderfall von technischer Entwicklung in kommerzieller Industrieforschung bestimmt eine »Marktlücke« einen Effizienzbereich.

Technik und Effizienzbereich sollen nun als unabhangige Komponenten einer jeden technischen Entwicklung dargestellt werden bzw. eine technische Entwicklung kann mit Hilfe dieser beiden Parameter dargestellt werden. Es wird nicht behauptet, daß dies die »wahre« Darstellung technischer Entwicklung ist, sondern vielmehr, daß sich mit ihrer Hilfe einige weitere Ph‰nomene technischer Entwicklung relativ einfach darstellen lassen.

Abbildung 2 zeigt ein Diagramm, in dem die Ordinate die Dimension der Modellvariation (technische Entwicklung), die Abszisse die Dimension der Variation des Effizienzbereiches (der Nutzung) repräsentiert. Die beiden Idealtypen technischer Entwicklung sind durch »A« und »B« gekennzeichnet.

[Abb. 2 fehlt]

A: die reine Anpassung einer Technik an einen stabilen Effizienzbereich im Laufe der Zeit. Ein Beispiel mögen die einander folgenden Telegrafensysteme zur Zeit der klassischen Telegrafie sein, die sich voneinander durch höhere Telegrafiergeschwindigkeit auszeichneten (vgl. Bild 4).

B: der reine Transfer einer Technik in einen neuen Effizienzbereich (ohne ihre interne Veränderung). Ein Beispiel dafiir mag der erste Einsatz der Funktechnik für die Funkortung sein. Fälle dieses Idealtyps sind schwerer anzugeben, da sie stets nur der erste Schritt zur weiteren Anpassung der transferierten Technik an die neuen Leistungsanforderungen sind.

In den in dieser Fallstudie untersuchten Beispielen tauchten sowohl Entwicklungen des Typs »A« (z. B. in der kommerziellen Nachrichtentechnik zwischen den Weltkriegen) und des Typs »B« auf. Letztere sowohl als Resultat der technischen Entwicklung selbst (wie der Übergang von der Funktelefonie zum Rundfunk in den USA), als auch in der Form der externen Aufprägung neuer Entwicklungsprogramme, wie sie der Zweite Weltkrieg fiir die technische F+E mit sich brachte.

Jedes reale technische Entwicklungsprogramm läßt in fast jedem Punkt seines Verlaufs die Erfüllung anderer, bis dato nicht implizierter Anforderungen durch ein technisches Modell möglich erscheinen, d. h. dessen Entwicklung mit Hinblick auf eine mögliche andere Nutzung. Im normalen Betrieb einer Forschungsorganisation, die ein solches Entwicklungsprogramm durchfiihrt, dominieren jedoch die Projekte, die sich aus der Entwicklung in dem fixierten Nutzungsbereich ergeben.

Die Aktivitäten einer Forschungsorganisation in einem technischen Entwicklungsprogramm kann man nun, gemäß ihren Komponenten nach *Entwicklung einer Technik in einem festen Nutzungsbereich* und *Transfer einer Technik in einen neuen Nutzungsbereich* als eine Kurve (zeitlichen Verlaufs) in diesem Diagramm darstellen.

2.2 DIE FORSCHUNGSORGANISATION (FO) ALS GRUNDLEGENDE EINHEIT

Ganz allgemein kann man eine Forschungsorganisation als eine (An)Ordnung von Forschungskapazität (gemessen etwa in Mann-Jahren) auffassen. Diese Bestimmung enthält die »Forschergruppe«, wie sie etwa die analytische Basis des Kuhn'schen Konzeptes bildet[10] als einen möglichen Fall, wie auch andere Fälle der Strukturierung von Forschungsaktivitäten.

Man kann nun nach dieser Bestimmung der Größe einer Forschungseinheit aus dem Produkt der Zahl der Mitarbeiter an einem Problem und der zeitlichen Dauer von deren Aktivität, F_0=P.T, verschiedene Typen von FO unterscheiden:

– die elementare Forschungsorganisation für P=1 und T wachsend:

[10] Darauf weist z. B. Spiegel-Rösing (1973:68) hin

Die Strukturierung der Arbeitskraft eines Forschers in der Zeit, ausgerichtet nach verschiedenen Objekt-(oder Begriffs-), Methoden- oder Problem-bereichen; die Einheit ist das Mann-Jahr. Die elementare FO ist mit anderer Worten die *wissenschaftliche Biografie eines Forschers.*

– komplexe Forschungsorganisationen mit T=1 und P>1:

Die Strukturierung der Arbeitskräfte einer größeren Zahl von Forschern, betrachtet zu einem festen Zeitpunkt. Dies ist z. B. die klassische F+E-Organisation in Matrixform, nach technischen Sachgebieten in Produktions- oder Marktkontext oder nach technischen oder wissenschaftlichen Sachgebieten geordnet, wie sie sich in einem Organisationsplan widerspiegelt.

Reale Forschungsorganisationen sind meist komplex und in der Zeit für längere Zeit dauernd. Diese lassen sich nach der Art und Weise ihrer inneren Organisation einteilen in

– formale Forschungsorganisationen,

wie die F+E-Großlabors in definierten Sachgebieten und in

– informelle Forschungsorganisationen,

in denen die Strukturierung der Arbeitskräfte einer größeren Zahl von Wissenschaftlern über eine längere Zeit nicht formal festgelegt ist, sondern über den Diskurs eines Forschungszusarnenhanges (Fachgebiet) gesteuert wird. Dies ist die Struktur eines *»invisible college«* (Crane; 1972). Das Forschungs- und Entwicklungsprogramm definiert dabei informell die zu erledigenden Teilaufgaben der Beteiligten, die, um diesem folgen zu können, in formalen Forschungsorganisationen mit partiell ähnlicher Arbeitsaufteilung oder besonderen Forschungsbedingungen ansässig sein müssen.

In der technischen Forschung und Entwicklung, mit der wir uns hier befassen, können formale Forschungsorganisationen (denen das Hauptaugenmerk gilt), nach drei Dimensionen des Kontextes der technischen Objekte, der Nutzung und der wissenschaftlichen oder technischen Methoden bzw. unterschiedlicher Kombinationen von diesen strukturiert sein.

Tabelle 1 gibt die entsprechenden Beispiele aus dem analysierten Fall für die Bell Telephone Laboratories und Siemens (Zentrallabor). Man beachte die wegen der unterschiedlichen Marktpositionen unterschiedlichen Bestimmungen von Nutzungseinheiten.

TABELLE 1: Strukturierung formaler Forschungsorganisationen

	techn. Objekte	Nutzung	(wiss.)Methoden (u.Obj.)
d. h. in diesem Fall	Einzeltechnik	Markteinheit	wiss. Fachgebiet
z. B. BTL	Vakuumröhren	Übertragungstechnik	Chemie
z. B. Siemens	Vakuumröhren	Telefonie	Chemie, in FL

Für FO, die in Entwicklungsprogrammen für die kommerzielle Nutzung von Techniken im Markt engagiert sind, decken sich die ideal typischen Strategiekomponenten z.T. mit dem, was Blake unter »defensiver« und »offensiver«Strategie von F+E Einheiten versteht (1969:47): *Ausbau eines bestehenden* und *Eröffnung eines neuen Marktes.* Zumindest in F+E von 376 von Schanz (1972) untersuchten Unternehmen der elektrotechnischen Industrie dominierten die »defensiven« Motive eindeutig die F+E-Strategie, zu etwa 75%.[11] Dies Ergebnis fügt sich direkt in die hier vertretene These der »norma-

[11] Schanz (1972:65 f.)

len« Phase technischer Entwicklung in einem gegebenen Effizienzbereich als der praktisch zumeist dominierenden.

Für formale FO in der Industrie ist die Bedeutung dieses Strategems so groß, weil offensive F+E-Strategien anerkanntermaßen weniger abschätzbarer in ihren Ergebnissen, riskanter als defensive Strategien sind. [12] In der Realität enthält die Strategie formaler Forschungsorganisationen in der Industrie stets beide Komponenten – zu unterschiedlichem Anteil. Ebenso sind für einzelne Teile von F+E-Labors unterschiedliche Aktivitätsverteilungen möglich.

Es kann an dieser Stelle nicht die Aufgabe sein, dies im Detail auf elementare oder informelle FO hin zu überprüfen – die Vermutung analog wirkender Mechanismen dort darf aber ausgesprochen werden. So deuten Ergebnisse der klassischen Untersuchungen von Pelz und Andrews (1966) an, daß auch für elementare FO, also die Tätigkeit von Wissenschaftlern, die optimale Strategie hinsichtlich ihrer Kreativität und ihrer Produktivität nicht in einem der Extremalpunkte des Strategiediagramms, sondern dazwischen liegt. Für dieses Optimum ermittelten sie als notwendige Randbedingungen maßvolle Einschränkung der wissenschaftlichen Freiheit (d. h. total interner Selbststeuerung) und vielseitigen Einsatz in verschiedenen Gebieten (ebd.: 8 ff., 54 ff., 74 ff.).

Die überwiegende Bedeutung kam bei der Projektwahl in der Industrieforschung allgemein dem Ziel der Effizienzsteigerung eines gegebenen Produktes (hier einer Technik) zu. Vier der 5 wichtigsten Leistungsanforderungen an Forschungsprojekte in der Industrie galten diesem Aspekt:

– Reduktion der Produktionskosten,

– Reduktion der Betriebskosten für den Verwender,

– Erhöhung des Gebrauchswertes des Produktes,

– Erhöhung seiner Verkaufschancen,

und nur der 5. Aspekt galt der

– Schaffung neuer Geschäftsbereiche.[13]

Das Normale der technischen Entwicklung war die Ausfüllung existierender Nutzungsbereiche mit Modellreihen in Richtung auf höhere Effizienz, seltener, bzw. von geringerer Bedeutung war die Suche nach neuen Nutzungsbereichen für entwickelte Techniken. Wobei von Industrie zu Industrie die Unterschiede hier sicher beträchtlich waren. Diese Aufstellung deutet aber bereits den einfachen Mechanismus an, daß bei *Sättigung eines Nutzungsbereiches*, d. h. Stagnierung eines Produktes (hier einer Technik in ihrer Verwendung), die ersten der oberen Projektbewertungskriterien rapide an Bedeutung verlieren müssen und die *Suche nach neuen Nutzungsbereichen dominierend* wird. Dies läßt sich genauer zeigen und ist für die Theoriebildung in der technischen Forschung von außerordentlich großer Bedeutung.

Sämtliche Typen von Forschungsorganisationen (FO) haben das eine Ziel ihres Wachstums[14], zumindest aber ihrer Erhaltung gemeinsam. Die konkreten Strategien, die sich daraus ergeben, hängen zwar von dem jeweiligen Bezugssystem ab, in dem die FO operiert (wie etwa der Entwicklung technischer Modelle für die Nutzung im kommerziellen Markt oder die Publikation von theoretischen Ergebnissen für die Rezipierung durch die wissenschaftliche Gemeinschaft), die Folgen für die Verschiebung der Aktivitätsbereiche sind jedoch als Resultat des *Mechanismus der Projektselektion* analog.

---

[12] Kern, Schröder (1977:86)
[13] Kettering (1932)
[14] Diese Bedingung bezeichnet Lakatos – für die kognitive Ebene der »Forschungsprogramme« – als »meine rationale Rekonstruktion der allgemeinen anerkannten Forderung der ›Einheit‹ oder ›Schönheit‹ der Wissenschaft« (Lakatos; 1974:169)

Versiegen die internen Probleme der Entwicklung einer (technischen oder Begriffs-) Ordnung, so muß sich die FO, deren Aufgabe die Problembewältigung ist, an die Suche neuer externer Nutzungsbereiche der entwickelten Technik (oder auch Theorie, dies wird weiter unten noch zu diskutieren sein) machen, da sie bestrebt sein wird, ein Maximum des bereits Erarbeiteten weiterhin nutzen zu können.

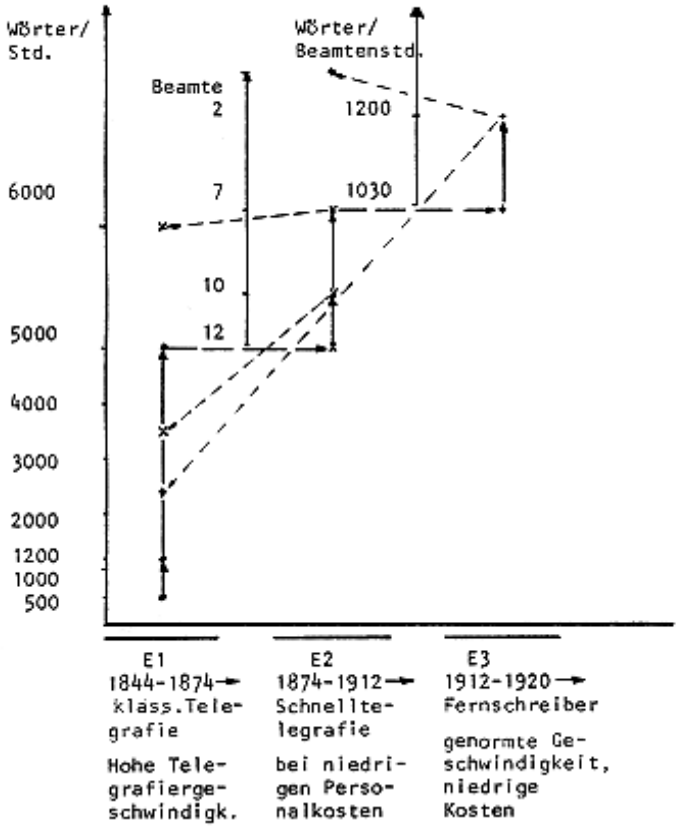
Es deutet sich hier bereits an, daß – zumindest in dem Gebiet der Forschung, das hier behandelt wird – die Wissenschaftsentwicklung weder als *»Logik der Forschung«* noch als *»Psychologie der wissenschaftlichen Arbeit«*[15], sondern als die *»Strategie von Forschungsorganisationen«* zutreffend beschrieben werden kann.

2.3 BEISPIELE AUS DER FALLSTUDIE

Die in Abbildung 2 idealisierte Darstellung der Entwicklungskomponenten der Technik soll im folgenden für unterschiedliche Typen der Entwicklung an Beispielen aus der Fallstudie illustriert werden. In Abbildung 3 sind auf der Abszisse 3 Effizienzbereiche der Telegrafie eingetragen, die historisch einander folgten und 3 verschiedenen Nutzungsbereichen oder Anwendungssituationen entsprachen (II.2.2.2). Auf der Ordinate sind die innerhalb dieser Bereiche verfolgten Strategien der technischen Entwicklung eingetragen, d. h. die Ordinate zeigt die zeitliche Folge und die – jeweils – gesteigerte Effizienz.

[15] Dies die von Kuhn (1974) akzentuierte Alternative der Beschreibung von Wissenschaftsentwicklung.

ABBILDUNG 3: Periodensystem der technischen Entwicklung von Telegrafensystemen (11.2.2.2.2)



Beim Übergang von einem Effizienzbereich in einen neuen wird die jeweils im vorangehenden Bereich effizienteste Technik als Ausgangsbasis – nun unter den Kriterien des neuen Bereiches – genommen, deren Eigenschaft Vergleichsmaßstab für die weiteren Modelle dieses Bereiches sind.

Die gestrichelten Linien sind Projektionen der Modelle auf zurückliegende Effizienzkriterien.

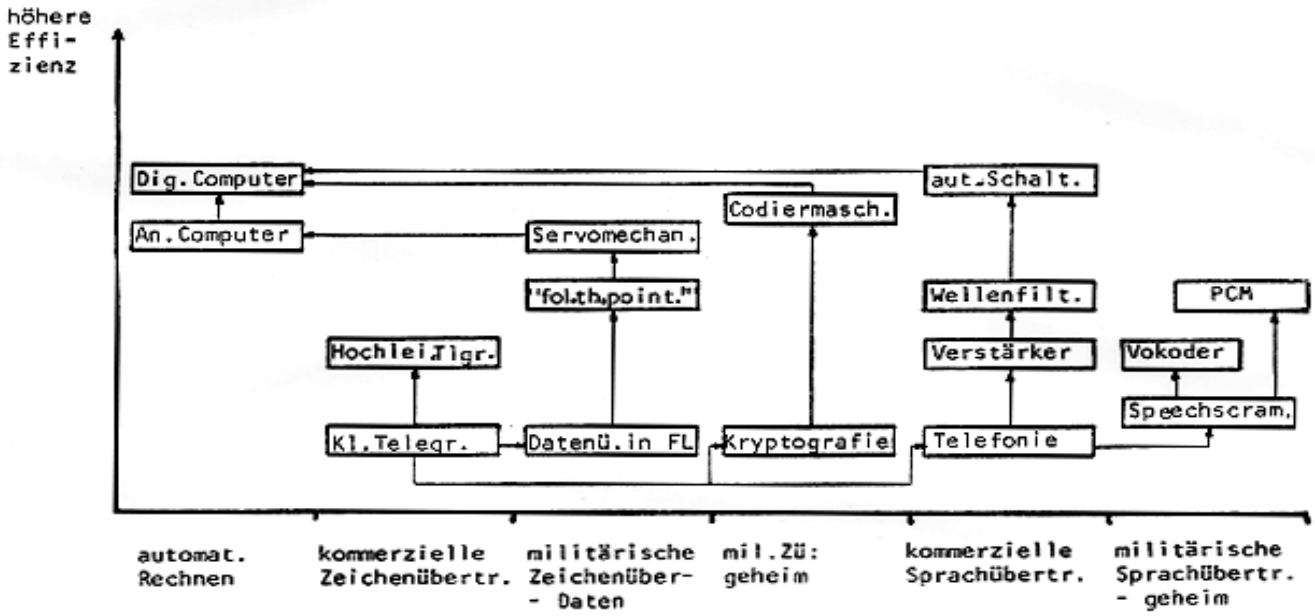
Dieses *Periodensystem* macht die Geschichte dieser speziellen Technik in einer rationalen Weise darstellbar, gerade weil es drei deutlich verschiedene Entwicklungsperioden zeigt, zwischen denen rationale Abwägung (nach »besser-schlechter«) tatsächlich unangebracht war. Obwohl dies noch verwandte Techniken waren, erkennt man bereits, daß sich absolut gültig etwa zwischen Siemens-Schnelltelegraf oder Fernschreiber nicht entscheiden ließ (hinsichtlich der technischen Leistung, nicht etwa der Marktchancen).Ohne ein solches Periodensystem müßten die Modellreihen der Telegrafie als eine ungeordnete Menge von Systemen erscheinen – ähnlich wie »vorparadigmatische« Wissenschaft aus der historischen Rück-Sicht des letzten, gerade bestehenden Paradigma.[16]

Die rationale Rekonstruktion der Geschichte dieser Technik setzt mit anderen Worten die Diskontinuität der internen rationalen Abwägbarkeit einander folgender technischer Modelle voraus.

[16] Böhme, van den Daehle (1977) weisen darauf hin.

Sehr vereinfacht kann man ein entsprechendes Periodensystem für einen größeren Ausschnitt der Fernmeldetechnik insgesamt angeben (Abb. 4)

ABBILDUNG 4: Periodensystem der Entwicklung einiger nachrichtentechnischer Systeme



Die dabei angegebenen 6 Effizienzbereiche (Zeichenübertragung: kommerziell, militärisch – Daten, militärisch – Geheim; Sprachübertragung: kommerziell, militärisch – geheim und automatisches Rechnen) sind die jeweiligen Gesamteffizienzforderungen, wie z. B. in der kommerziellen Telefonie die Gesamt-effizienz, die *akustische Qualität, Übertragungsqualität* und *Vermittlungsdauer* etwa einschließt.

Die Folge der Bereiche ist hier mehr oder weniger beliebig.

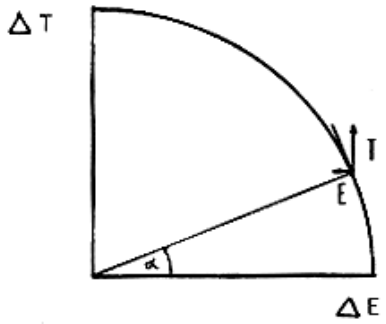
Diese Aufstellung ist nicht die einzig mögliche, keine *»notwendige«*, lediglich eine *»hinreichende«*, da die genannten Techniken in dieser Weise tatsächlich entstanden, aber oft lediglich als Resultat nur einer der verschiedenen unabhängigen Entwicklungen, so der Analogcomputer oder der Digitalcomputer. Bei PCM und Vocoder bezeichnet die Einordnung deren erste praktische Nutzung, nicht die Entstehung des Konzeptes selbst. Sämtliche angegebenen Übergänge sind in der Fallstudie angesprochen, in mehr oder weniger ausführlicher Form.

Der Unterschied zu der in Abbildung 3 gegebenen Darstellung ist die viel größere Entfernung der verschiedenen Effizienzbereiche der in Abb. 4 dargestellten Techniken voneinander. D. h. die hier eingeordneten Techniken standen in weit weniger direkter Konkurrenz zueinander und entwickelten sich nach dem Transfer der Technik in einen neuen Effizienzbereich auch in den alten daher noch weiter. Hier wird die Unsinnigkeit einer Forderung nach rationaler Abwägung zwischen beliebigen technischen Modellen offenkundig. Dies konnte stets lediglich bzgl. eines Effizienzbereiches getan werden. Diese Darstellung technologischer Evolution in Form eines Periodensystems ermöglicht hier eine geeignetere Rekonstruktion der historischen *Bewegungsgesetze der Technik*, als etwa die Ermittlung von Entwicklungstrends von Gesamttechniken nach einheitlichen Gesamtindizes, wie dies z. B. von Cetron (1969) unternommen wurde.

Man kann nun versuchen, die Aktivitäten einer Forschungsorganisation, die innerhalb eines Effizienzbereiches engagiert ist, etwas näher zu untersuchen. Wieder kann man dazu das in Abbildung 2 benutzte Koordinatensystem nach technischer Entwicklung (Ordinate) und Ausfüllung eines Effizienzbereiches (Abszisse) benutzten. Eine solche Darstellung kann sich nie auf ein isoliertes technisches System, sondern stets nur auf technische Entwicklungsprogramme, d. h. auf die *Aktivitätsverteilung von Forschungsorganisationen* beziehen. Grundannahme ist dabei, daß insgesamt die Aktivitäten einer FO von konstantem Ausmaß (in Mann-Jahren) sind. Es werden also stets Anteile angegeben. Ein Beispiel dafür ist die Aktivitätsverteilung der Bell Telephone Laboratories insgesamt.

Quantitativer Index der verschiedenen Aktivitäten ist dabei die Zusammensetzung der Finanzierung der BTL. Angewandte Forschung und technische Entwicklung wurden von der Western Electric Co. , d. h. der Produktionsseite, grundlegende Forschung ohne sofortige Anwendungsorientierung von der AT&T, d. h. der Betriebsseite, finanziert. Es versteht sich, daß die Übergänge im Detail fließend sind, dennoch bliebe zu testen, ob nicht insgesamt mit diesen Indizes – Anteil der Entwicklung und Anteil der Grundlagenorientierung (mit der Möglichkeit, neue Nutzungsbereiche zu eröffnen) am Gesamtprogramm – im Sinne der vorangehenden Überlegungen sinnvolle Ergebnisse erzielt werden können.

ABBILDUNG 5: Technische Entwicklung und Wechsel von Effizienzbereichen: Strategiediagramm für Forschungsorganisationen



Dazu kann man Abbildung 2 in Abbildung 5 so konkretisieren, daß auf der Ordinate ΔT, die Differenz zwischen 100%iger Entwicklungsorientierung der FO und dem in einem Zeitpunkt tatsächlich bestehenden Anteil der Entwicklung am Gesamtprogramm und auf der Abszisse ΔE, die Differenz zwischen 100%iger Orientierung in Grundlagen, die die Eröffnung möglicher neuer Effizienzbereiche bedeutet und dem zu dem betrachtenden Zeitpunkt tatsächlich bestehenden Anteil daran aufgetragen sind.

Die beiden Extremalpunkte können dabei folgendermaßen interpretiert werden:

ΔT = 1 , ΔE = 0: Die Aktivität der FO in technischer Entwicklung ist gleich 0, sie ist ausschließlich in den Grundlagen aktiv, d. h. ohne vorgegebene feste Effizienzkriterien. Das von dieser FO verfolgte Entwicklungsprogramm ist abgeschlossen, die Modelle verändern sich nicht mehr. Man konzentriert sich auf die Suche nach neuen Einsatzbereichen.

ΔT= 0, ΔE = 1: Die FO betreibt ausschließlich Entwicklung, Grundlagenforschung, die neue Effizienzbereiche erschließen könnte, existiert nicht. Die Technik, in der diese FO engagiert ist, verändert sich schnell, der Kurs der Entwicklung ist vorgegeben.

FO werden bestrebt sein, eine für ihr Gebiet jeweils spezifische Aktivitätsverteilung zu halten, d. h. sowohl in Entwicklungsprogrammen als auch in der Suche nach weiteren Nutzungsbereichen aktiv zu sein. Wie die oben angegeben Rangverteilung der Selektionskriterien für Forschungsprojekte vermu-

ten läßt, werden sich industrielle FO eher in einer Position unten rechts, als oben links einordnen lassen.

Die Orientierung der BTL zu einem Zeitpunkt ist jeweils als ein Punkt auf dem Kreisausschnitt (der Gesamtbetrag der F+E wird zu jedem Zeitpunkt als 100% gezählt) dargestellt. Als die Komponenten der Tangente in diesem Punkt ergeben sich WECo und AT&T Anteil.

Dabei sind wieder

$$\Delta W = \frac{BTL - WECo}{BTL}$$

Anteile und

$$\Delta A = \frac{BTL - AT\&T}{BTL}$$

wobei $\Delta W=0$ bei Gesamtfinanzierung der BTL durch die Produktionsseite der Western Electric und $\Delta W=1$ bei keinerlei Finanzierung durch die Western Electric, für ΔA analog.

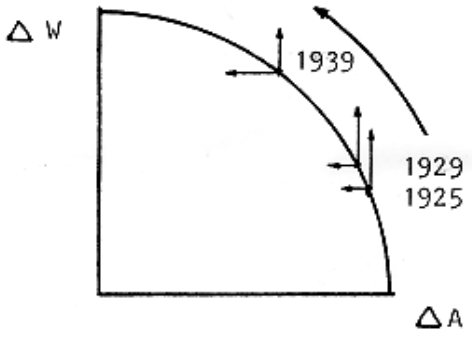
Damit ergibt sich die Position der FO in diesem Diagramm aus

$$a = \arctan\frac{DW}{DA} = \arctan\frac{BTL - WECo}{BTL - AT\&T} = \arctan\frac{AT\&T}{WECo}.$$

90° - α ist dabei der Anstieg (die Richtung) der Tangente.

Dies ist nur eine mögliche, nicht etwa »die wahre« Darstellung eines solchen Verlaufs der Aktivitätsverteilung einer FO, die allerdings den Vorteil der Anschaulichkeit hat.

ABBILDUNG 6: Die Bell Telephone Laboratories zwischen den Weltkriegen



Damit wird das Diagramm für die BTL so wie in Abb. 6 dargestellt. Tabelle 2 enthält die entsprechenden Zahlenwerte der Finanzierung.

Tabelle 2: Finanzierungsanteile der BTL (Q.: Bell System R&D; 1967 AAA)

Jahr	von AT&T	von WECo	
1925	3,6	8,9	22°
1929	7	13,7	27°
1933	8,4	5,7	56°
1939	11,1	9,1	51°

1945	11,9	5,3	13°
1948	15,6	31,3	26°

in Millionen $

Die Diskussion der Ergebnisse macht auch die Berechtigung der Gleichsetzung von Grundlagenorientierung und Suche nach neuen Nutzungsbereichen klar.

1933 hatte die Grundlagenorientierung der BTL ihr (relatives) Maximum erreicht, und zwar als eine Folge der Weltwirtschaftskrise. Diese hatte – aufgrund externer Faktoren – den Effizienzbereich der Telefonie so verschoben, daßder Markt (vorübergehend) plötzlich gesättigt war. Die Produktion sank um 80%, der Betrieb um 20%.[17] Automatisch gewann die Finanzierung von der Betriebsseite an Bedeutung. Erklärtermaßen wurden in dieser Zeit die Grundlagen für die 1936 im ersten technischen Modell begonnene Breitbandkabeltechnik gelegt – wichtiger Schritt der BTL in den erwarteten Nutzungsbereich der Fernsehtechnik (hoher Bandbreitenbedarf der Übertragungsstrecken zwischen (Fernseh)Sendern, für die das Bell System zuständig war)[18] (II.1.3.1). Auch ist es wegen der Weltwirtschaftskrise in dieser Phase verständlich, daß gerade die Theorieabteilung der BTL (»Mathematical Research«) anders als alle anderen keinen einzigen ihrer Mitarbeiter zu entlassen brauchte (III.1.4). Bis 1939 ging – mit der Erholung des Marktes – dieser Trend wieder etwas zurück, blieb aber insgesamt (für 1925, 1929, 1939) derselbe. Mit der Optimierung der Technik in ihrem Nutzungsbereich wandte man sich mehr und mehr Grundlagenprogrammen zu – finanziert durch die gewachsenen Einnahmen des Betriebes des weiter vergrößerten Netzes. Diese Darstellung ist allerdings viel zu unspezifiziert, um mehr als einen groben Eindruck von der Aktivitätsentwicklung einer in einem technischen Nutzungsbereich aktiven FO zu gewinnen. Über die Chancen allgemeiner Theorienbildung in Einzelbereichen kann man damit noch nicht viel aussagen.

Als zweites Beispiel, das etwas spezifischere Gebiete zu beurteilen gestattet, seien die »Problemgemeinschaften« (Böhme, van den Daehle, Hohlfeld 1978:245) der einzelnen Teilgebiete der Fernmeldetechnik betrachtet: die (nach zeitgenössischer Klassifikation) in den Gebieten »Telegrafie«, »Telefonie«, »Funk« publizierenden Autoren (I.2.5).

Diese Gruppen waren in der Wahl der Fragestellungen, die sie bearbeiteten, so eng an die Technik gebunden, wie die Institutionen, in denen sie arbeiteten. Ihre Gesamtheit kann man daher als eine informelle FO ähnlich starker Bindung an die Technik auffassen.

Betrachtet man die Publikationen dieser Autoren als Index der Verteilung der Gesamtaktivitäten der Gebiete, so müssen zwei Indizes gefunden werden, die a) die Entwicklung des wissenschaftlich/theoretisch-technischen Kerns und b) dessen Reflexion und Nutzung in anderen Publikationen enthalten. Wie weit – so die Fragestellung – sind die jeweiligen Gemeinschaften mit der Veränderung des substantiellen Kerns des Gebietes, wie weit mit dessen Reflexion befaßt.

Als entsprechende Indizes dienen hier die Zahlen der den Gebieten in zwei unterschiedlich konzipierten Fachbibliografien der Zeit zugeordneten Publikationen: einer, die wissenschaftlich/technisch bedeutsame Veröffentlichungen registrierte (Science Abstracts, B, Electrical Engineering (W)), einer, die Vollständigkeit anstrebte (G) (Jahrbuch der Elektrotechnik, Schriftenschau der RPF) (Anhang III).

Basis der Darstellung bietet wieder das Diagramm aus Abbildung 2. Auf der Ordinate ist ΔW, die Differenz zwischen 100%iger Charakterisierung der Publikationen eines Gebietes zu einem Zeitpunkt, als wissenschaftlich/technisch bedeutsam und dem zum untersuchten Zeitpunkt tatsächlich erreichten Anteil aufgetragen – auf der Abszisse Δ (G-W), die Differenz zwischen 100%igem und realem Anteil der reinen Reflexion und Berichtung. Auch hier sind in den Ausgangsdaten beträchtliche Ungenauigkeiten, subjektive Wertungen der zeitgenössischen Berichter etc. – dennoch spiegelt die so gewonnene Darstellung der Fachgebiete die aus der Entwicklung der Techniken und der Verkehrsmittel bekannten

[17] Quelle wie in Tab. 2

[18] Zum ähnlichen Mechanismus bei Siemens in derselben Zeit vgl. Anhang I.3.2.

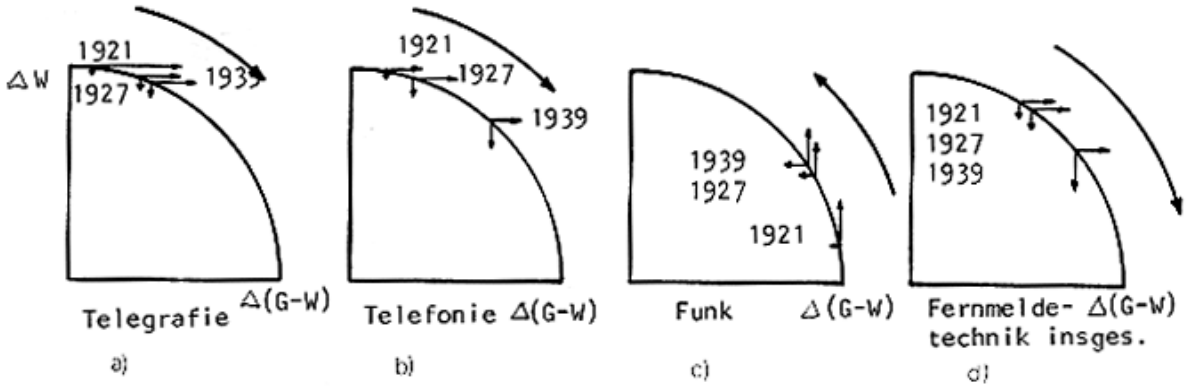
Trends gut wieder. Wieder wird die jeweilige Position eines Gebietes (als einer informellen FO, die eng an die Entwicklung einer Technik gebunden ist) im Diagramm der Aktivitätsverteilung mit Hilfe der Beziehung

$$\alpha = \text{arc}\ \tan\frac{\Delta W}{\Delta(G-W)} = \text{arc}\ \tan\frac{G-W}{W}$$

dargestellt.

Die Abbildung 7 zeigt dies für die einzelnen Gebiete in 1921, 1927 und 1939[19]. Die Tangentenkomponenten geben jeweils den Anteil an interner und externer Orientierung an. Abbildung 7d) zeigt die Fernmeldetechnik als Fachgebiet insgesamt.[20] Telegrafie, Telefonie und Fernmeldetechnik insgesamt bewegen sich danach von relativ stabilen Zuständen in den zwanziger Jahren in Phasen neuer Entwicklung unter neuen Effizienzanforderungen, deren Ursachen hier lediglich durch die *internen Faktoren* Verstärker, Wellenfilter, Funk bedingt waren. D. h. in den Leitungstechniken begann nach Klärung der Übertragungs- die Entwicklung der Netztechniken, im Funk beherrschte die Entwicklung der neuen Übertragungstechnik die gesamte Periode. Der Funk selbst befindet sich in einer Periode, ständiger starker interner Veränderung, mit leichtem Trend Richtung eines stabileren Gebietes. Näher finden sich diese Phasen in I.2.5 diskutiert.

ABBILDUNG 7: Telegrafie, Telefonie, Funk und Fernmeldetechnik als informelle FO zwischen den Kriegen



Generelle Theorien der jeweiligen Techniken insgesamt erschienen in Telegrafie und Telefonie bis Ende der zwanziger Jahre, im Funk und in der Fernmeldetechnik insgesamt später gar nicht mehr – bzw. wenn, dann waren sie schnell von der Veränderung des Gebietes überholt. Unter »generelle Theorie« sind hier allgemeine Theorien einer oder mehrerer dieser Techniken insgesamt verstanden, die deren Effizienzgrenzen und -bedingungen absteckten: Telegrafentheorie, Verkehrstheorie, Qualitätstheorie (in der Telefonie), Nachrichtentheorien.

Diese Beispiele betreffen die Entwicklung der Aktivitätsverteilung von FO aufgrund von selbst verursachten Phänomenen, wie neuen Techniken, Sättigung von Nutzungsbereichen und Konkurrenz in diesen. Zwei Parameter bestimmen die Position einer FO dabei zu einem Zeitpunkt in diesem Strategie-Diagramm: die aktuelle *Aktivitätsverteilung* und die *Richtung ihrer Veränderung.* Erste läßt sich in einem Zeitpunkt, letzte nur über einen Zeitraum feststellen. Obwohl für technische Modelle andere

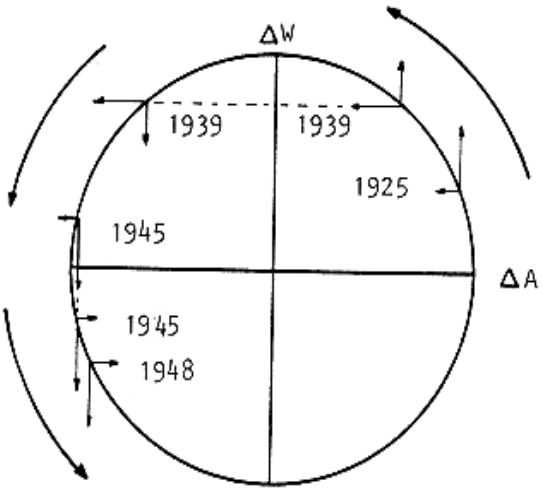
[19] Daten bitte aus Anhang VI.1.3 entnehmen.
[20] Im Gegensatz zur Diskussion in II.2.5 wurde hier das Gesamtgebiet aus der direkten Summierung aller W und G-W Daten erhalten.

Erfolgskriterien gelten als für die Publikationen über sie (bei gewissen Verbindungen beider allerdings), sind Fachgebiet und technischer Hintergrund auf der Basis des verallgemeinerten Modells einer FO mit dieser Methode einheitlich beschreibbar.

Es erhebt sich die Frage, ob sich die These dieser Entwicklungsdynamik auch bestätigt, wenn sie nicht Resultat interner Strategie der FO ist, sondern der Wechsel von Effizienzbereichen für die zu entwikkelnde Technik extern aufgeprägt wurde. Dies läßt sich für den bereits untersuchten Fall der BTL am Beispiel der Kriegsforschung betrachten, die den wohl krassesten derartigen Fall darstellt.

In Abbildung 8 repräsentieren die verschiedenen Quadranten des Kriegsprozesses in der intern-extern Ebene verschiedene Effizienzbereiche bezogen auf den der kommerziellen Telefonie. Darin ist der weitere Verlauf der bereits in Bild 6 für die BTL angegebenen Daten bis 1948 dargestellt. Finanzierung der F+E durch Produktionsseite (WECo) oder Betriebsseite der kommerziellen Telefonie (AT&T). Alle militärischen Projekte wurden über die Produktionsstätte der WECo finanziert. (Der Betriebs-Aspekt der militärischen Technik wurde in anderem Forschungskontext (NDRC) untersucht). Die gestrichelten Linien stellen dabei die Projektion der bis dahin entwickelten Technologie als eine Basistechnologie in einen neuen Effizienzbereich dar.

ABBILDUNG 8: Aktivitätsverteilung der Bell Telephone Laboratories in kommerzieller Telefonie und Krieg



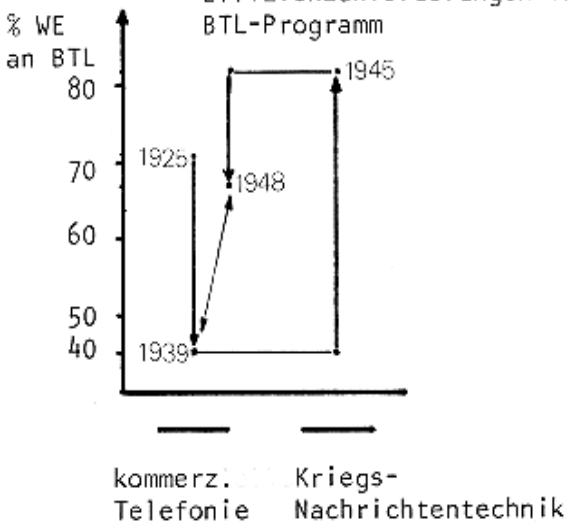
Darin wird deutlich, daß der Zweite Weltkrieg eine »revolutionäre« Änderung darstellte, die plötzliche Veränderung des Effizienzbereiches für eine bereits relativ optimale Technologie und den Beginn einer neuen Entwicklungsphase innerhalb dieses neuen Bereiches. Das Entwicklungstempo erreichte 1943 seinen Höhepunkt (da sich auch innerhalb der Kriegstechnik selbst die Effizienzanforderungen in Abhängigkeit von der strategischen Lage weiter veränderten) und kehrte nach dem Krieg zu einer Phase neuer Bedeutung der aus der kommerziellen Nutzung der Telefonie motivierten und finanzierten Grundlagenorientierung zurück.

Man kann den radikalen Wechsel der Effizienzbereiche während des Krieges in einem anderen Schema noch etwas deutlicher machen:

In Abbildung 9 ist lediglich der Anteil der Produktionsseite an der Finanzierung der BTL-Aktivitäten aufgetragen und verschiedene Effizienzbereiche sind auseinandergezogen.

Erinnert man sich daran, daß abnehmende Entwicklungsaktivität ein Zeichen für beginnende Stabilität einer Technologie ist, so läßt dieses Diagramm eine Reihe interessanter Verallgemeinerungen zu. Die Veränderungen durch den Zweiten Weltkrieg sind nahezu die Ideal form der extern bestimmten und abrupten Veränderung eines Effizienzbereiches gewesen. Man kann daher diesen Verlauf des Kreisprozesses von *interner Optimierung einer Ordnung* und *externer Veränderung der Optimierungskriterien* modellhaft verstehen. Von Bedeutung ist hierbei besonders die durch den Doppelpfeil angedeutete -*rational zu entscheidende Abwägung* zwischen der in E^1 1939 nahezu optimierten Technologie und der 1945 als neue Basis-Technologie aus der Kriegsentwicklung in E^1 eingetretenen Technologie.

ABBILDUNG 9: Optimierung von Techniken und externe Veränderung der Effizienzanforderungen im BTL-Programm



Die Diskussionen jener Zeit sind voll davon, daß es die wichtigste Aufgabe (in 1945-49 etwa) sei, nach der Verwendbarkeit der im Krieg entwickelten Techniken für die kommerzielle Nachrichtentechnik zu suchen.

Zunächst aber zeigen diese Beispiele, daß sich in dem vorgeschlagenen Diagramm tatsächlich quantitative Darstellungen der Strategien und Aktivitätsverteilungen von FO geben lassen, die Eigendynamik in einem Effizienzbereich, oder dessen Wechsel, wie auch einen extern induzierten Wechsel der Leistungsanforderungen an technische Modellreihen sinnvoll darstellbar machen – bei aller Ungenauigkeit der Indizes.

Besonders der Übergang zu den technischen Entwicklungsprogrammen in den Effizienzbereichen der Kriegs-Technik macht wegen seines abrupten und radikalen Charakters die prinzipiellen Typen der Bewegung von FO gut deutlich. Aus der empirisch gewonnenen Darstellung dieser Entwicklung für die BTL in Abbildung 9 lassen sich zwei idealisierte Zyklen der Bewegung von FO und den von ihnen verfolgten technischen Entwicklungsprogrammen ableiten, die hier der *Markt*- und der *Kontraktzyklus* genannt werden sollen.

2.4 STRATEGIEN VON FORSCHUNGSORGANISATIONEN, MARKT- UND KONTRAKTZYKLUS

Die Grundannahme war hier, wie bereits erwähnt, daß eine FO prinzipiell zwei plausible Ziele verfolgt, die sie mit allen Organisationen teilt:

a) zu wachsen oder mindestens bestehen zu bleiben,

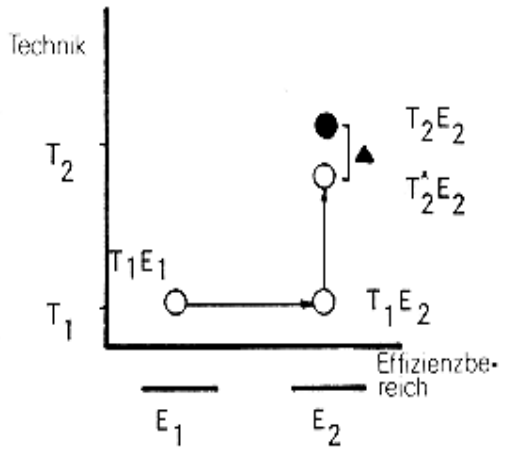
b) dies mit dem geringst möglichen Aufwand an interner Umorganisierung zu tun (was z. B. im Fall des einzelnen Umlernen hieße).

Für eine FO bedeutet dies speziell, mit einem gewissen Satz an Modellen und Methoden gewisse Probleme zu lösen als die ihre Identität definierende Aktivität. Dies ist der Motor, der über den Mechanismus der Projektselektion »wichtiger« oder »interessanter« Probleme die äußeren Bewegungen einer FO steuert.

Diese lassen sich mit dem bislang Diskutierten in zwei Idealtypen unterscheiden.

In Abbildung 10 bezeichnen T_1E_1 und T_2E_2 jeweils eine stabile Technik in einem gesättigten Effizienzbereich, die von zwei unterschiedlichen FO (z. B. in unterschiedlichen Unternehmen) in unterschiedlichen Nutzungsbereichen entwickelt wurden (und z. B. produziert und vermarktet). Eine der beiden FO beginnt mit dem Transfer ihrer Technik in den anderen Effizienzbereich und konkurriert dort sofort mit der anderen, ihre Technik dort noch optimierend.

ABBILDUNG 10: Der Marktzyklus



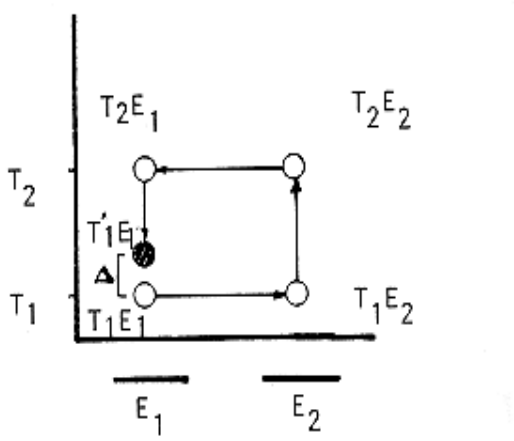
Ein Paradebeispiel für eine derartige Situation war der Eintritt von General Motors mit der Diesel-Technik in den Markt der Eisenbahn-Lokomotiven in 1935, was zur Verdrängung der Dampf-Lokomotiven nach dem 2. Weltkrieg vom gesamten US-Markt führte und,

> »more important, the companies making steam locomotives had passed from the industrial scene« (Rosenbloom; 1978:226)

Die FO dieser Unternehmen hatten nicht genug Reserven bzw. die Marktsituation war zu jener Zeit noch nicht die notwendige, um etwa mit Dampf-Motoren für den PKW/LKW-Markt zu antworten (was heute durchaus wieder eine getestete Technik ist). Die in der Abbildung 10 mit Δ gekennzeichnete Phase ist unter normalen Bedingungen eine der *Konkurrenz von FO mit ihren Programmen in einem Markt,* auf dem deren Resultate rezipiert werden. Ein Beispiel aus der Fallstudie ist die Konkurrenz der AT&T (Telefonie) und Western Union (Telegrafie)-Fernschreibersysteme TWX bzw. TWS im US-Markt.

Über die »besseren« Systeme (im Sinne der obigen Definitionen: »Modelle«) wurde hier nicht einheitlich rational entschieden, sondern im Markt, d. h. einer millionenfachen Summe individueller rationaler Entscheidungen über die Akzeptierung dieses oder jenes Modells. Δ ist in diesem Fall eine Entscheidung im Markt, die oft zuvor getroffene Versuche rationaler Abwägung alternativer Programme korrigiert – wie das Beispiel der Ablehnung des Bell'schen Angebotes des Telefonie-Programms an die Telegrafengesellschaft Western Union durch deren »rationale Abwägung« zeigte, in 1876.[21] Der entscheidende Unterschied, der mit der »interinstitutionellen« Kontraktforschungsorganisation der USA während des Zweiten Weltkrieges, dem NDRC, verbunden war, war die Überwindung der auf die einzelnen FO konzentrierten Patentpools und der Transfer vieler FO, die verschiedene Basistechniken vertraten, in neue Effizienzbereiche und ihre einheitliche Koordinierung darin (III.1.1). Innerhalb eines Effizienzbereiches war nun für verschiedene Techniken der Markt durch eine begrenzte Anzahl von Tests und darauf folgende rationale Entscheidungen abgelöst worden.

ABBILDUNG 11: Der Kontraktzyklus



Diese Umstellung war zeitlich begrenzt und machte später einer Rückorientierung auf die zuvor bearbeiteten Nutzungsbereiche Platz.

Dies kann in dem idealisierten Diagramm so dargestellt werden, wie es in Abbildung 11 zu sehen ist: der Transfer von Techniken in neue Effizienzbereiche, ihre dortige Entwicklung zu neuen Techniken (wie dem Radar), nach Wegfall der militärischen Effizienzforderungen der Rücktransfer der nun neuen Basis-Techniken in den Rahmen der Leistungsanforderungen kommerzieller Nachrichtentechniken und die dortige Entwicklung.

Es bestand allerdings ein gewichtiger Unterschied zum Marktzyklus: T_1E_1 und T_1E_1 waren Techniken im selben Nutzungsbereich *innerhalb von FO, die den gesamten Kreisprozeß zurückgelegt hatten.* Jedes der an den Radarkontrakten des NDRC etwa beteiligte Unternehmen, d. h. jede entsprechende

[21] Fagen (1976:31).

FO, verfügte nun über fast das gesamte Spektrum der Detailtechniken, da die FO der Zeit der Kriegsforschungskontrakte *quer* zu den FO des Marktes organisiert waren. Die Phase Δ bezeichnete hier nicht eine *Konkurrenz innerhalb des Marktes,* sondern eine Situation mit dem *Zwang zu rationaler Entscheidung innerhalb einer jeden FO.* Intern mußte rational abgewägt werden zwischen alternativen Techniken, die ansonsten, patentrechtlich abgeschottet, im Markt konkurriert hätten: zwischen Dutzenden von Modulations- und Multiplexsystemen, zwischen Breitbandkabel- oder Richtfunktechnik etc. Diese Notwendigkeit zur rationalen Bewertung verschiedener Techniken innerhalb von FO ließ das Bedürfnis an entsprechenden quantitativen Maßstäben wachsen. (III.3.2)

Diese Bewegung während des Krieges und danach war zugleich die historische Ursache für die Ingangsetzung des Mechanismus des Kontraktzyklus in den USA, der für die industrielle Forschung und Entwicklung der Zeit danach seine Bedeutung behalten sollte: die zeitlich begrenzte Überlagerung von technischen Problemstellungen quer zu den Forschungsorganisationen, die im Markt operierten.

Wie im Fall der Kriegsforschung offenkundig, hatte diese Überlagerung von Markt- und Kontraktzyklus von FO gesteigerte Innovativität durch Produktion interner technischer Alternativen und die förmliche Aussaat neuer kleiner elektronischer Unternehmen und FO nach dem Krieg zur Folge. Deshalb erfüllen staatliche Kontraktforschungsnetze heute – *unabhängig von der Lösung der Probleme, auf die sie ausgerichtet sind* – für die beteiligten FO die wichtige Aufgabe der Erhöhung der Kombinationsmöglichkeiten von Nutzungsbereichen und Basistechniken zu deren Ausfüllung. Dies ist bei Kontrakten, die direkt in der Richtung der technischen Entwicklungsprogramme liegen, die die FO im Markt ohnehin schon verfolgt, eher *weniger* als mehr der Falle. Daß FO in der Regel, wenn sie die Wahl haben, diese Kontrakte bevorzugen, liegt einfach daran, daß die interne rationale Entscheidung zwischen technischen Alternativen stets eine schmerzhaftere Prozedur ist als die bloß energischere Verfolgung bereits begonnener Entwicklungsprogramme.

2.5 THEORIEN IN DER TECHNIK

Welches sind die Aufgaben von Theorien in den Phasen »A«, der Entwicklung von technischen Modellreihen innerhalb eines festen Bereiches von Leistungsanforderungen oder »B«, des Transfers einer stabilen Technik in einen neuen Effizienzbereich?

Beschränkt man sich auf diese idealtypischen Bewegungen, so ist lediglich »A« eine Bewegung innerhalb der Technik, »B« aber in der Orientierung der FO insgesamt. Theoriebildung in der Technik steht normalerweise nur für – möglicherweise bestimmte Phasen – der technischen Entwicklung selbst zur Debatte. Diese Phasen lassen sich in dem Modell der kontinuierlichen Akzentverschiebung der Orientierung von FO als bestimmte Anteile von A) und B) daran beschreiben.

Die Aufgabe der Theorie in der technischen Entwicklung ist es, Modellreihen abzukürzen, d. h. das Ergebnis der Konstruktion und Testung von Modellen theoretisch zu antizipieren und so die Entwicklung zu beschleunigen.

Anders gesagt, die Theorie hat die Abhängigkeiten der äußeren Effizienz der Modelle von ihrer internen Dimensionierung in *befriedigender – nicht etwa absolut gültiger Weise* anzugeben. Sie ermöglicht so die Etablierung einer Hierarchie von Effizienzbereichen fiir einzelne Detailtechniken, d. h. die *Operationalisierung der Gesamtentwicklung.* Es ist vielleicht hilfreich, sich hier der Begriffe zu bedienen, wie sie in der technischen Optimierungstheorie verwendet werden. Danach versteht man unter einer *Gradientenstrategie* der *technischen Optimierung* die Kalkulation der Richtung des stärksten Anstieges im Effizienz»gebirge« (einem vieldimensionalen Qualitätsparameterraum), d. h. der Richtung der Entwicklung, die den größten Effizienzanstieg bedeutet. So kann man, ausgehend von einem Modell der Reihe die Eigenschaften des nächstbesten etwa abschätzen. Eine technische Theorie er-

laubt nun gerade das Einschlagen einer solchen Gradientenstrategie, da sie den Einfluß interner Konstruktionsmerkmale auf die äußere Leistung angibt, d. h. der Richtung der internen Entwicklung die der externen Leistungssteigerung einer Modellreihe zuordnet.

Wie Rechenberg (1973) für eine spezielle Klasse von Qualitätsfunktionen und einfache Typen von Parameterräumen (z. B. der n-dimensionalen Kugel oder dem n-dimensionalen Quader) gezeigt hat, sind Gradientenstrategien bei Effizienzbereichen niedriger Dimension in Tempo und Aufwand der Entwicklung optimal, je höher n jedoch wird, desto sicherer ist die zufällige Optimierungsstrategie – das Konstruieren, Ausprobieren und Selegieren zufällig ausgewählter Modelle.

Obwohl dies nicht für alle möglichen Klassen von Funktionen und Parameterräumen gezeigt wurde, gibt dieser Satz für die hier lediglich qualitative Argumentation einige außerordentlich wichtige Hinweise.

Er gilt bereits für Räume ohne Nebenmaxima, d. h. »Gebirge« mit nur einem »Hügel«, bereits in diesen können

> »mit zunehmender Parameterzahl die Hilfsoperationen einer determinierten Strategie zu einem größeren Fortschrittsverlust führen … als die unvermeidlichen Abweichungen der Schrittvektoren einer Zufallsstrategie von der optimalen Fortschrittsrichtung« (Rechenberg; 1973:127).

Unter »Fortschritt« versteht Rechenberg dabei die Annäherung an das Maximum des Effizienzbereiches.

Auf dieses Modell und seine zentrale Aussage wird später noch zurückzukommen sein. Hier wird bereits deutlich, daß in komplexen Effizienzbereichen rational geplante Entwicklungsstrategien der (Zufalls)Funktion des Marktes insgesamt mit seiner vielfachen Summe voneinander unabhängiger Selektionsverfahren durchaus unterlegen sein können.

Beispiele für die Aufgabe von Technikтheorien als Mittel zur Etablierung rational planbarer Entwicklungsstrategien aus der Fallstudie lassen sich angeben.

In der klassischen Telegrafie auf Transatlantikabeln war die Kelvinsche Leitungstheorie, das Gesetz der Dämpfung von Impulsen auf linearen Leitern eine derartige ausreichende Theorie. (I.2.2).

Der Anstieg in der Leistung (Impulsfolgegeschwindigkeit) ließ sich genau als Funktion der Parameter der Kabeldimensionierung angeben. Unklar wurde dies wieder, als innerhalb der Kontinente massenhaft verschiedene Telegrafiersysteme (in Stromschrittzahl, Code, Wortlänge) konkurrierten. Es waren die Beziehungen dieser neuen Variablen zur äußeren Effizienzforderung nach höchstmöglicher »speed of transmission of intelligence« (Nyquist) zu klären.

Den Einfluß dieser Parameter, Signalgeschwindigkeit, Stromschrittzahl und Sequenzlänge auf die äußere Effizienz von Systemen klärte Nyquist 1924 theoretisch (I.3.1).

Als die Telegrafie als »Unterlagerungs-« oder »Tonfrequenztelegrafie« auf die Telefonkabel ausweichen konnte, trat der neue Parameter der Frequenzbandbreite, die von Signalen eingenommen wurde, als Bestimmungsfaktor für die Signalgeschwindigkeit und die Qualität der Signalerkennung hinzu. 1928 klärte Nyquist den Zusammenhang zwischen Bandbreite und Signalgeschwindigkeit (I.3.2).

All diese Theorien dienten der Effizienzabschätzung der technischen Modelle. Schlüsselkonzept bei Nyquist war das des Signalelementes, Methode die der Fourieranalyse.

Leistung dieser Theorien war nicht nur die Antizipation eigener Entwicklungen, sondern ebenso die Beurteilung der im Rahmen anderer Entwicklungsprogramme (oft von unabhängigen Erfindern) vorgeschlagenen Modelle, deren theoretische Einordnung Konstruktion und Testung ersparten. Dies war

einer der wichtigsten Beweggründe für die Formulierung des Hartley'schen Konzeptes (1928) (I.3.2), für Aktualisierungsversuche dieses Konzeptes für die Telefonie (Strecker; 1935) (I.3.3.2) oder für dessen Wiederentdeckung im Zusammenhang mit dem Fernsehen (1940 und 1946) (Anhang IV.2).

An dieser Stelle ist es angezeigt, auf das Konzept der »Technikтheorien« einzugehen, wie es sich im Starnberger Finalisierungsmodell findet (Böhme, van den Daehle, Hohlfeld; 1978). Die Charakterisierung einer solchen Theorie wird dort vom Standort der Wissenschaftssoziologie her vorgenommen und diese daher nicht in ihrer *Funktion für die Technik*, sondern in ihrer *relativen Position zu den wissenschaftlichen Disziplinen* bestimmt. Technikтheorien erscheinen dann als Finalisierungsprodukte, Spezialtheorien dieser Disziplinen.[22] Diese Charakterisierung läßt sich jedoch nicht bruchlos einhalten, weshalb – auf eine eher beliebige Weise – zwischen derartigen und »formalen Technikтheorien« unterschieden wird, zu denen Informationstheorie, Kybernetik, Systemtheorie etc. gezählt werden (Böhme, van den Daehle, Krohn; 1978:372), die auf ganz andere Weise entstanden wären.

Diese Unterscheidung kann historisch nicht aufrecht erhalten werden, denn die Vorstufen der Informationstheorie Shannons, Leitungstheorie, Telegrafentheorie und Informationskonzept entstanden durchaus ebenfalls aus der theoretischen Elektrotechnik, aus Elektrizitätslehre und Schwingungsforschung, Spezialtheorien der Physik.

Die Informationskonzepte Gabors (1946) und Wieners (1949) waren Resultate direkten Modelltransfers aus der Physik bzw. Mathematik (III.3.).

Shannon'sche und Wiener'sche Kommunikationstheorie waren andererseits direkte Quellen der »Emanzipation« der theoretischen Nachrichtentechnik von der Physik als alleinigem Modellieferanten. Der formale Unterschied besteht lediglich darin, daß Technikтheorien im unterschiedlichen Ausmaß interne theoretische Probleme stellen, die über die Probleme der »Mutterdisziplin« hinausführen. Wo die Forschungsbedingungen die Verfolgung dieser theoretischen Programme in separaten informellen FO gestatten, erscheinen sie als »Technikwissenschaften«.

Die obige Unterscheidung ist nicht nur historisch nicht treffend, sondern sachlich auch völlig unnötig – bestimmt man derartige Theorien von ihrer Funktion für die Technik her, was der hier untersuchten Fragestellung gemäßer sein mag, als dem Starnberger Ansatz.

Die Funktion derartiger Theorien für die Technik, von den genannten Autoren am Rande als »die Verfolgung technischer Zwecke durch Theorienbildung« erwähnt (Böhme, van den Daehle, Krohn; 1978:367), kann nach dem hier Gesagten als *die Schaffung der Voraussetzungen für das Einschlagen einer determinierten Strategie* (wie der Gradientenstrategie) *für die technische Optimierung von Modellreihen* angegeben werden. Mit anderen Worten, ihre Aufgabe bestand in der *Reduktion der Komplexität von Effizienzgebieten.*

Auch die Informationstheorie selbst hatte ihre große Resonanz, weil sie diese Aufgabe erfüllte: die bis dato scheinbar separaten Effizienzmaße der Signalqualität (Signal/Rausch-Verhältnis) und der Signalmenge (Bandbreite) wurden in dem einheitlichen Effizienzmaß der Kanalkapazität integriert (III.3.4).[23]
Die Schaffung eines derartigen Maßes stand zu jener Zeit auf der Tagesordnung. Man vergleiche die Phase Δ in Abb. 11. Viele Versuche erschienen, die meisten Autoren fanden sich in der »Informationstheorie«-Gemeinschaft später wieder. Theoretische und technische Modellreihen konnten bei der Entwicklung eines derartigen Effizienzmaßes durchaus komplementäre Rollen spielen. Dies wurde am Beispiel der PCM-Technik und der Entwicklung eines allgemeinen Effizienzmaßes deutlich. (III.2.4.3.2 und III.3.2.2.1).

---

[22] Böhme, van den Daehle, Hohlfeld (1978:217).
[23] Darüber hinaus integrierte Shannons Theorie mit den Begriffen der Redundanz und der Äquivokation die Leistungsanforderungen einer Technik (der Telegrafie) in verschiedenen Effizienzbereichen (geheimer und nachrichtentechnischer Übertragung) und machte diese einheitlich beschreibbar.

Technischer Hintergrund für den Hartley'schen Versuch der Aufstellung eines einheitlichen Effizienzgesetzes für Nachrichtenübertragungssysteme (1928) war ein Puls-Amplituden-Modulationsmodell der Sprachübertragung, das er im Zusammenhang mit Entwicklungen geheimer Telefonie im 1. Weltkrieg entwickelt und später patentiert hatte (I.3.2.4). Dieses machte die Telefonie auf die Telegrafenübertragung zurückführbar. Wenn auch nicht direkt aus diesem, so aber aus Techniken wie dieser, entwickelte sich die PCM (1938:Patent), wo nur noch bestimmte Amplitudenstufen zugelassen waren und deren Höhe telegrafisch codiert ultraschnell als Zahl übermittelt wurde.

Unter Beteiligung des Erfinders der PCM wurde 1948 von Earp ein Effizienzgesetz der Nachrichtenübertragung aufgestellt, bei dem alle realen Systeme (gewissermaßen als durch PCM »atomisiert«) als Funktionen von deren Eigenschaften ausgedrückt wurden, PCM als ideales Modell begriffen.

Andererseits gelangte Shannon etwa um 1943/44 in seiner Verfolgung der theoretischen Präzisierung des Hartley'schen Konzeptes zu einer unabhängigen Entwicklung der PCM als eines Beispiels seines theoretischen Modells. Earps Konzept war eine unvollkommenere Version dessen, was in Shannon's Theorie mit eingeschlossen war.

Man konnte über die Entwicklung einer Theorie ein fast optimales technisches Modell »vorhersagen« (tatsächlich existierte PCM zu jener Zeit ja bereits, war nur dem Kreis um Shannon nicht bekannt) – wie man ebenso »nachträglich« aus der Idealisierung eines fast optimalen technischen Modells eine Theorie effizienter Systeme erhalten konnte.

Es war die *stärkere Theorie,* die die Deduktion des technischen Modells erlaubte – und es war andererseits die *technische Entwicklung* (im Markt insgesamt) *schneller* als die Deduktion eines optimalen Modells aus der Theorie.

Im Zweiten Weltkrieg war die Auffächerung der Modellreihen – wie bereits erwähnt,die schnellste Methode, auf komplexe Effizienzanforderungen zu reagieren. Viele bzgl. einzelner Parameter optimierte Modellreihen entwickelten sich während des Krieges. »Lokale« Theorien und »ad hoc solutions of urgent practical problems« (Gabor; 1954:1) tauchten auf. Es erhebt sich dabei die prinzipielle Frage, in welchem Stadium der Aktivitätsverteilung und Richtung von deren Veränderung in FO Theorien auftauchten – d.h. a) gebraucht wurden, b) entstehen konnten – die Effizienzbedingungen von deren Entwicklungsprogrammen insgesamt zum Gegenstand hatten. Diese seien hier als generelle Theorien bezeichnet.

Mit Hinblick auf die von einer solchen Theorie zu erfüllenden Aufgaben ist es klar, daß sie gerade dann gebraucht wurde, wenn eine Basistechnik in einem neuen Effizienzbereich entwickelt werden sollte. Um die bereits mehrfach benutzte Darstellung zu verwenden; bei einer Bewegung des Typs, wie er in Abb. 7a) für die Telegrafie gezeigt ist, wenn die Rückorientierung in eine neue Entwicklungsphase begonnen hat, also in der Umgebung des Punktes, an dem sich die Trends umkehren. In dieser Phase auch nehmen die direkten technischen Entwicklungsprobleme des alten Nutzungsbereiches zunehmend weniger Kräfte in Anspruch bzw. nach der Umkehr des Trends nehmen die Entwicklungsprobleme unter den neuen Leistungsanforderungen zunehmend mehr Kräfte in Anspruch.

Die Beispiele in Abb. 7 zeigen, daß etwa in den 20er Jahren sich das gesamte Gebiet (in Gestalt von Telegrafie und Telefonie) in der genannten Phase befand. 1939 war es bereits weit in einer neuen Entwicklungsphase. In dieser Phase spielten Detailtechniken in Detail-Effizienzbereichen, die vom Gesamtbereich abgeleitet sind, die entscheidende Rolle. Generelle Theorien halfen direkt für die Modellreihen der Detailtechniken nicht viel. Diese bedürfen ihrer eigenen Theorien.

Zu Beginn jedoch ist die Gesamtorientierung, die Abschätzung rational planbarer Strategien der Optimierung, die konstruktive Operationalisierung der – im Idealfall – Gradientenstrategie der Entwicklung entscheidend.

Die These ist hier, daß die generellen Theorien, die die praktisch hinreichende Orientierung der Gesamttechnik in einem Effizienzbereich geben – bevor sich dieser in Detailtechniken und Effizienzhierarchien aufgefächert hat – am *Beginn* einer solchen Entwicklung stehen, nicht am Schluß.

Nicht: die Informationstheorie war die (merkwürdigerweise) lange überfällige wissenschaftliche Grundlage der Telegrafie, sondern: *die Informationstheorie ist die Theorie des PCM –, nicht des Zeitalters der klassischen Telegrafie. Dort waren andere Theorien bereits hinreichend.*

Die Präzisierung von Theorien in der Technik ist in diesem Sinne immer eine Aktualisierung; neu aufgetauchte Variablen der internen Konstruktion von Modellen beeinflußten deren externe Effizienz. *Wie* genau sie dies taten, mußte geklärt werden, wollte man Modellreihen planbar machen.

Es versteht sich, daß diese Phase lediglich eine notwendige Bedingung für die Entstehung derartiger Theorien und ihre interessierte Rezeption ist.

Die grundsätzliche theoretische Abschätzung der Effizienzreserven einer Technik in einem Nutzungsbereich, der Differenz der Leistungen real vorliegender und ideal dort möglicher Modelle ist die erste Aufgabe. In dem Augenblick, wo grobe Abschätzungen keine große Differenz mehr zwischen idealen und realen Systemen erkennen ließen – wie etwa 1927 in der Telegrafie (II.3.1.3) bestand an der weiteren Entwicklung der *technischen,* wie auch der *theoretischen* Modelle kein gesteigertes Interesse mehr. *Beide Modellreihen waren hinreichend optimiert.*

Da die alte Technik interne technische und theoretische Probleme kaum mehr stellt, kann sich die Theorie anderen möglichen Leistungsvariablen zuwenden. Einordnende, »zurückblickende« Theorien zu formulieren, besteht weder Zeit noch Motivation in derart operierenden FO.

Bestenfalls tauchen derartige Untersuchungen auf geringem theoretischem Niveau in Gestalt von Festvorträgen, technischen, historischen, wirtschaftlichen Überblicken o.ä. auf. Diese sind auf den *Abschluß* der Gebiete hin orientiert.

Deutlich wird dies an den Fachgebieten der Fernmeldetechnik, wo sämtliche generelle Theorien, die in dieser Fallstudie von Bedeutung sind, unter dem wissenschaftlich/technisch relevanten Kern geführt wurden – nicht unter der sonstigen Gesamtdiskussion (G-W). Beide fallen zusammen in *dieselbe Entwicklungsphase* von FO, sind aber *nicht identisch,* sie gehören eher zusammen, wie Erzadern und charakteristische Gesteinsschichten um diese herum. (II.2.5).

2.6 DIE INFORMATIONSTHEORIEN

Bis zu den Theorien Shannon’s, Gabor’s und Wiener’s und den Forschungsbedingungen nach dem Zweiten Weltkrieg waren die Nachrichtentheorien Technikheorien im Sinne der oben geschilderten Funktion innerhalb technischer Entwicklungsprogramme.

Sie brauchten nicht perfekt, sondern mußten hinreichend sein. Shannon’s Theorie war in diesem Sinne noch Technikheorie, die man als »a yardstick against which things could be measured« (Oliver; 1977:1/950) ansah.

Andererseits war sie bereits ein eigenes wissenschaftliches Forschungsprogramm, nicht mehr ausschließlich direkt an der Technik orientiert, sondern mit eigenen internen Problemstellungen. Dies war gleichermaßen Resultat ihrer eigenen formalen Eigenschaften und der veränderten Forschungsbedingungen.

Es bildete sich eine eigene informelle FO »Informationstheorie« – mit Zeitschriften (IRE Transactions on ITh., Information and Control), Kongreßreihen (MIT, London, IRE) und einer »Professional Group on Information Theory« innerhalb der IRE (Institution of Radio Engineers in den USA) als den Kanälen des Diskurses. Zunächst umfaßten diese Shannon's, Wiener's und Gabor's Konzept, konzentrierten sich jedoch später (besonders die Fachgruppe) mehr und mehr auf die Implikationen der Shannon'schen Theorie.

Diese war inhaltlich bald autonom, was die folgende Äußerung eines ehemals an deren Rande beteiligten Wissenschaftlers und engen Mitarbeiters von Shannon erhellt:

> »people keep making up problems, more because they can solve the problems than because the problems have any relation to what people really need to do. I think there is an awful lot of that in information theory« (Pierce; 1977:2/228)

Auch darin wurde die Informationstheorie der Mathematik, aus der sie entstanden war, vielleicht ähnlicher, als sie es zu Beginn gewesen war:

> »Half of mathematical research consists in solving interesting problems. The other half consists in formulating interesting problems which can be solved« (MacMillan; 1955:199).

Dieses symmetrische Ideal der Mathematiker als FO insgesamt würde diese direkt am idealen 45°-Punkt des Strategie-Diagramms lokalisieren, wenn es sich quantifizieren ließe.

Die Autoren der Informationstheorie waren z. T. in großen Industrielabors, in Einheiten mit besonderen Forschungsbedingungen der Freiheit von den unmittelbaren Zwängen technischer Entwicklungsprogramme, z. T. in Hochschulen beheimatet. Zu einem großen Teil ist die Informationstheorie heute nichts anderes als wissenschaftliche Disziplinen auch: *Programm einer informellen FO.*

Entstanden waren alle drei »großen« Kommunikationstheorien – im Unterschied zu all denen, die ähnliches innerhalb der Nachrichtentechnik versuchten – durch den Transfer von bis dato in der Nachrichtentechnik ungebräuchlichen Modellen und Methoden in diese: Gabor: Quantenmechanik, Wiener: Theorie stochastischer Prozesse, Shannon: Wahrscheinlichkeitstheorie und Geometrie hochdimensionaler Räume.

Im Falle der Entstehung der Wiener-Theorie läßt es sich am deutlichsten machen, daß hier Analoges galt, wie innerhalb der technischen Entwicklungsprogramme selbst: Wieners statistische Theorie der Vorhersage (I.12.1942) und der Vorhersage und Datenglättung (I.2.1942) war eine direkte Anwendung der von ihm bis 1930 entwickelten verallgemeinerten Harmonischen Analyse. Hätte er das Problem früher gekannt, hätte er es jederzeit nach 1931 lösen können (Anhang V.6). Hier nun gab es den Transfer eines reifen (theoretischen) Modells und entsprechender Methoden in einen (technisch definierten) Problembereich, wie er etwa in der Starnberger Finalisierungsthese diskutiert wird. Aus der Sicht der vorliegenden Untersuchung war dies die (von Wiener bei Beginn des Krieges aktiv betriebene) Suche nach einem neuen Nutzungsbereich:

> »the theory of the stochastic process had advanced to the point where the study of the prediction problem was the next thing on the agenda« (Wiener; 1949a:59)

Für elementare FO lassen sich Strategiediagramme wie die oben diskutierten kaum quantitativ angeben, dennoch läßt sich an diesem Fall fast eine idealtypische Bewegung der Art erkennen, wie sie der Kontraktzyklus der Kriegsforschung auch in den technischen Programmen bewirkte: des Übergangs in neue Nutzungsbereiche.

Dieser Kontraktzyklus war nicht nur für die technischen, sondern auch für die theoretischen Programme entscheidend. Nicht etwa die besondere Natur der technischen Probleme des Zweiten Weltkrieges

an sich, sondern der *Kontraktzyklus zu ihrer Lösung* war der *entscheidende Vorgang für technische Entwicklungsprogramme und Theoriebildung in dieser Zeit.*

Deshalb geht beispielsweise eine Frage wie die folgende an der entscheidenden Bewegung vorbei:

> »Inwiefern ist ein historisches Faktum – der zweite Weltkrieg – ein (…) Grund für die Notwendigkeit einer neuen Wissenschaft? Welche neue Qualität besaßen die technischen Probleme, die der Krieg aufwarf, daß eine neue wissenschaftliche Disziplin sich ihrer annehmen mußte?« (Held; 1973:21)

In dem Fall der Wienerschen Theorie läßt sich eine Differenzierung nach Modell/Methode einerseits und Problembereich andererseits deshalb einfacher angeben, weil eine abgeschlossene Theorie in einem technischen Effizienzbereich angewendet und weiterentwickelt (»finalisiert«) wurde. Ebenso in der nicht aus Verwerfungen durch die Kriegsforschung resultierenden Gabor-Theorie.

Ist die Position einer theoretisch/wissenschaftlichen FO aber weniger in einem der Extremalpunkte des Strategiediagramms, sondern etwa in der Region, wo Anteile interner und externer Orientierung gleichstark sind, läßt sich sicher inhaltlich eine Differenzierung zwischen Modellen/Methoden und Problembereichen viel weniger leicht vornehmen.

Dennoch sollte man die These untersuchen, daß im Prinzip FO, die wissenschaftlich/theoretische Forschungsprogramme verfolgen, nach genau denselben Regeln der Erhaltung ihrer Identität, der Effizienz ihrer Operationen und der Auswahl von Projekten vorgehen, wie FO in technischen Entwicklungsprogrammen. Voraussetzung ist allerdings, daß der Begriff der »Leistung« theoretischer Modelle bzw. *von Publikationen theoretischer Modelle* hinreichend allgemein verstanden wird.

Danach waren Theorien – analog zu Techniken – *Modellreihen in Effizienzbereichen,* d. h. durch *Paarungen von Problembereichen und Modellen/Methoden* gekennzeichnet, ein theoretisches Modell als eine *(An)Ordnung von Begriffen* verstanden. In der Fallstudie ist dies für die durch den Problembereich der »Feuerleitung« in der Kriegsforschung »finalisierten« Ausgangstheorien und die daraus entstandenen Theoriekombinationen dargestellt (Abb. III.4.).

Theoriebildung wie technische Innovation ließe sich so als ein Kombinations- und Rekombinationsphänomen von Ausgangsmodellen und -methoden und Effizienz- oder Problembereichen verstehen. Diese Annahme läßt es notwendig erscheinen, noch einmal einige Angebote der Wissenschaftssoziologie auf ihre Verträglichkeit mit dieser Vorstellung zu diskutieren.

2.7 STRATEGIEN VON FORSCHUNGSORGANISATIONEN UND WISSENSCHAFTSENTWICKLUNG

Ein guter Teil der Wissenschaftssoziologie bezieht ihre Inspiration in erster Linie aus Beispielen kopernikanischer Revolutionen in der Wissenschaft, wie bereits gelegentlich kritisch vermerkt wurde.[24]

Bereits Toulmin äußerte die Vermutung, daß die Lösung des Dilemmas zwischen Katastrophen- und Akkumulationstheorie der Wissenschaftsentwicklung in einer Evolutionstheorie liegen würde[25] – in jedem Punkt der Wissenschaftsentwicklung seien gewissermaßen zu unterschiedlichem Anteil »nor-

[24] Toulmin (1974).
[25] Ebd.: 45.

male« und »revolutionäre« Optionen möglich. Diese Vorstellung kommt der bislang hier diskutierten der graduellen Verschiebung der Aktivitätsverteilung von FO nahe.

Wie sieht die fiir die Wissenschaftsforschung als zentral angesehene Aufgabe der Untersuchung des Unterschiedes zwischen *revolutionärer* und *normaler* Wissenschaft[26] oder der Wirkungschancen für interne und externe Faktoren in unterschiedlichen Phasen der Wissenschaftsentwicklung von der Warte dieses Modells aus?

Es ist bereits mehrfach deutlich geworden, daß ein Schlüsselexempel dieses Modells das nicht weniger singuläre Ereignis des Zweiten Weltkrieges ist, der die unterschiedlichen Bewegungstypen von FO in extremer Weise auseinanderzog und deutlich machte.

Annahme war weiterhin, daß Komponenten beider Bewegungstypen stets die Aktivitäten von FO bestimmen, allerdings zu unterschiedlichem Anteil und mit unterschiedlichen Trends der Veränderung dieser Anteile.

Nicht die Informationstheorie oder ähnliche Theorien waren die wissenschaftliche Revolution, sondern der extern aufgeprägte Kontraktzyklus der Kriegsforschung für nahezu alle FO der USA. Revolutionäre Verschiebungen sind hier für die Modellentwicklung solche, in denen sich die Kriterien der Modellbewertung selbst ändern, d. h. die Modelle in andere Effizienzbereiche gelangen.

Rationale Abwägung zwischen Modellen ist nur in Modellreihen *innerhalb* solcher Bereiche möglich – *zwischen* ihnen in absoluter Weise unsinnig. Erst die Bewertung der Modelle in hochkomplexen Effizienzbereichen (wie dem Markt oder der wissenschaftlichen Gemeinschaft insgesamt), die tausendfache Summe individueller Effizienzbewertungen Über die Akzeptierung eines technischen oder theoretischen Modells in Markt oder wissenschaftlicher Gemeinschaft (oder anderen Bezugsbereichen) entscheidet Über deren *Wirksamkeit.*

Erst recht ist zwischen Modellen ganz unterschiedlicher Modellreihen keine rationale Abwägung möglich, da diese nicht absolut in einer FO bewertet werden, sondern als *Reihe* in ihrem Entwicklungspotential insgesamt. Diese rationale Unentscheidbarkeit führt in vielen Fällen zu mehr oder weniger vollständiger Separierung von FO – sei es in der Form alternativer Programme für denselben Effizienzbereich, die nicht von ein und derselben FO zugleich voranzutreiben sind (wie es in der Fallstudie z. B. an alternativen Kommandogeräten innerhalb der BTL deutlich wurde)[27], oder sei es in Form der Entwicklung eines Ausgangsmodells in Richtungen unterschiedlicher Problembereiche (d. h. Leistungskriterien der Modelle), was im Markt letztendlich zu *Tochtergesellschaften,* in der wissenschaftlichen Forschung zu *Tochterdisziplinen* als notwendige Folge revolutionärer Leistungen von Wissenschaftlern führt, wie Hagstrom (1965) es etwa untersucht.

Es muß zwar in FO ständig über alternative Modelle *entschieden* werden, sie können jedoch in derselben Einheit nicht parallel *entwickelt* werden.[28]

Forschungsorganisationen sind, andersherum gesagt, gerade *Gruppen, die sich um rational entscheidbare Probleme scharen.* An der Grenze zur höheren Komplexität von Leistungsanforderungen, in deren Bereich rationale Entwicklungsstrategien ungeheuer aufwendige Programme zur Voraussetzung hätten, bricht die rationale Entscheidbarkeit, *eine Norm des wissenschaftlichen Diskurses,* ab und eine zweite lokale FO etabliert sich, innerhalb derer diese Norm wieder gelten kann.

Die Grenzen von FO bezeichnen die Bruchlinien rationaler Entscheidbarkeit zwischen Entwicklungsschri tten, d. h. letztendlich Komplexitätsabstufungen in Effizienzbereichen.

---

[26] Spiegel-Rösing (1973:67 f.)
[27] Vgl. Fagen (1978:152).
[28] Aber z. B. etwa in verschiedenen Unter-Einheiten von großen F+E-Labors bis zu einem gewissen Grad.

Im nachhinein stellen später übergreifende Theorien oft Maßstäbe her, die zwischen diesen FO rationale Planbarkeit von Entwicklungsschritten hätten ermöglichen können. Dies unterstreicht die Bedeutung der Komplexitätsabstufungen von Effizienzbereichen für die Etablierung von FO noch. Es macht deren Grenzen als ein zum allgemeinen Wissensstand relatives Phänomen verständlich. Dieser Satz zeigt aber ebenso deutlich die Funktionalität der Nicht-Rationalität von Auseinandersetzungen in Bereichen komplexer Leistungsanforderungen[29] für Gesamt-Anpassungsprozesse, da dies zur Etablierung separater Programme führt, deren Summe einer virtuellen Zufallsstrategie nahekommt.

Dies bezeichnet gleichfalls einen der wichtigsten Einwände, der gegen die *normativen Folgerungen* aus dem Starnberger Finalisierungskonzept erhoben werden muß, nämlich den dort proklamierten »rational erzeugten Konsensus der Gesellschaft« (Schäfer; 1978:393) als der Norm der Finalisierung reifer Disziplinen.

Um es vorsichtig zu formulieren, es existieren zumindest einige Klassen von Qualitätsfunktionen und einige Typen von Effizienzräumen, für die nicht rational angebbare Entwicklungsstrategien, sondern Zufallsstrategien die sichere, schnellere und weniger aufwendigere Anpassung erlauben. D. h. unter diesen Voraussetzungen hat die Summe der Programme autonomer FO ein größeres Anpassungs- (Optimierungs-) potential, als deren rational einheitlich geplante zentrale Koordinierung. Die Wissenschaft separiert sich gerade deshalb in unabhängige FO, wie auch die technische Entwicklung, weil rationaler Konsens in hochdimensionalen Effizienzräumen nur außerordentlich teuer zu haben ist.

Revolutionäre Theoriebildung kann als ein Kombinationsphänomen von Methoden/ Modellen und Effizienzbereichen aufgefaßt werden – »revolutionär« dabei das bedeutend, was es im eigentlichen Sinne heißt, nämlich »Eigendrehung«, Abspaltung bzw. Neuschaffung autonomer Forschungsprogramme, d. h. FO.

Derartige Revolutionen können extern induziert (wie durch den 2. Weltkrieg) oder Resultat interner Dynamik sein – wie etwa die Entstehung des Rundfunk aus der Telefonie in den USA (II.2.4.).

Das Starnberger Finalisierungskonzept, im Prinzip mit den hier entwickelten Gedanken kompatibel, hat jedoch einen anderen, wie mir scheint weniger gut analysierbaren Ansatzpunkt der Untersuchung, nämlich die *kognitive Ebene* der von FO vertretenen Disziplinen. In der vorliegenden Untersuchung erscheint Finalisierung dagegen nicht als die anhand kognitiver Eigenschaften einer Theorie ableitbare Chance für Aktivitäten externer Auftraggeber (Schäfer; 1978), sondern als die *intern für eine FO notwendige Strategie zur möglichst ökonomischen Erhaltung ihrer Identität.*

Da z.B. Böhme, van den Daehle, Hohlfeld (1978) ihre gesamte Analyse an der kognitiven Ebene festmachen, gewissermaßen versuchen, absolut inhaltlich festzustellen, wann eine Theorie als kognitive Einschätzung »reif« ist, geraten sie gelegentlich in Schwierigkeiten bei der Behandlung bereits vor dieser Phase erscheinender Anwendungen (»Funktionalisierungen«). Diese sind also offenbar kognitiv nicht ausgeschlossen. Sie müssen den Begriff der »Transferforschung« (1978;242) zur Erhaltung ihres Konzeptes einführen und zwischen »Forschung im zweiten Glied« und »Forschungsfront« unterscheiden.

Dabei bereits wird deutlich, daß ohne die Ebene der FO und ihre internen Selektionsmechanismen nicht auszukommen ist. Es sei nämlich für die »Forschung im zweiten Glied«

> »schwierig, Wissenschaftler zu gewinnen, solange sie die Chance haben, an der Forschungsfront der Disziplin zu arbeiten« (a.a.O.:242).

[29] In Unterstützung Kuhns und Kritik der Kritik, die Spiegel-Rösing (1973: 62 ff.) an Kuhns Relativierung des Wahrheitsbegriffes übt.

Die These ist hier, daß die Behandlung der Ebene der FO, ihrer internen Funktion und ihrer Strategie bereits vollständig ausreicht, zur Beschreibung des Phänomens interner und externer Orientierung – zumindest, was den auch von den genannten Autoren behandelten Fall von Theorien in der Technik angeht.

Solange noch interne Probleme existieren, die als »dringlicher« oder »interessanter« angesehen werden, ist die externe Anwendung nicht *unmöglich als ein kognitives Gesetz*, sondern würde, von außen induziert schlicht zur *Spaltung der FO* führen, *wie andere Divergenzen über unterschiedliche Effizienzkriterien der zu entwickelnden Modellreihe auch.* Solange noch interne Probleme existieren, die von einigen als »interessant« oder »wichtig« angesehen werden, hat die FO nicht die interne Kohärenz, um sich insgesamt in andere Bereiche bewegen zu können.

Das hier entwickelte Modell faßt damit, wie mir scheint, »Phänomene des kontinuierlich-kumulativen und solche des revolutionären diskontinuierlichen Wandels« – eine von Weingart (1976:41) formulierte Mindestanforderung an Modelle wissenschaftlicher Entwicklung, zumindest für den hier genauer diskutierten Bereich der Theoriebildung in der Technik.

Abschließend seien einige Fragen formuliert, die vor einer Verallgemeinerung des hier entwickelten Modells genauer zu untersuchen wären:

Welche Chancen existieren, auch für informelle Forschungsorganisationen quantifizierbare Indizes zur Beschreibung von deren Aktivitätsverteilung zu finden – neben der nicht immer anwendbaren Methode der bibliographischen Differenz? Lassen sich u.U. Zitationsindizes dazu heranziehen?

Existieren spezielle Korrelationen zwischen Strategiephasen von FO und den darin engagierten Typen von Wissenschaftlern?

Wie hängen Flexibilität und absolute Größe von Forschungsorganisationen miteinander zusammen – beurteilt nach dem Produkt aus Zeit und Personenzahl?

Lassen sich u.U. Untersuchungen über den Zusammenhang der Größe von formalen FO und deren Innovativität auf das Modell der verallgemeinerten FO übertragen?

Fragen wie diese werden hier nicht beantwortet. Ihre Diskussion könnte über die Brauchbarkeit des hier entwickelten Modells über den Fall der technischen Entwicklung hinaus entscheiden.

3. PHYSIK, NACHRICHTENTECHNIK, MATHEMATIK

VORBEMERKUNG

Nachdem oben ein Modell für die Orientierung von Forschungsorganisationen allgemein vorgeschlagen wurde, soll im folgenden versucht werden, die Bewegung eines Teils der theoretischen Nachrichtentechnik von der Physik zur Mathematik genauer zu verfolgen.

Zwei Ebenen des Verhältnisses von theoretischer Physik und theoretischer Nachrichtentechnik sollte man dabei auseinanderhalten: die *Entfernung* der theoretischen Nachrichtentechnik von den mathematischen Methoden und Modellen der klassischen theoretischen Elektrotechnik und Elektrodynamik und den *partiellen Gleichlauf* des Modell- und Methodenwandels innerhalb von theoretischer Physik und theoretischer Nachrichtentechnik – bei einer zeitlichen Verschiebung von ca. 30 – 40 Jahren.

3.1 PHYSIK, MATHEMATIK UND NACHRICHTENTECHNISCHE FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Die ersten elektrotechnischen Departments amerikanischer Hochschulen waren aus den Physik-Departments entstanden.[30] Noch 1927 war der einzige Professor für »Electrical Communication« des MIT, A. Kenelly, gleichzeitig Physikprofessor in Harvard.

Nur in den Ländern, die einen geringen Anteil an der Zahl der Welttelefone stellten, spielte jedoch nachrichtentechnische F+E an den Hochschulen zwischen den Weltkriegen *relativ* eine größere Rolle.

Dies läßt sich z. B. im Detail an der Zusammensetzung der Delegationen auf dem nachrichtentechnischen Fachkongreß 1927 in Como/Italien zeigen[31], wo das Verhältnis der Zahl der Hochschul-Forscher zur Gesamtzahl der Delegation für die USA 2:4, Deutschland 3:13, Großbritannien 0:4 war, für diese drei wichtigsten nachrichtentechnischen Länder also weit unterlag, für Italien dagegen 2:2 und die Tschechoslowakei oder Schweden 1:1 betrug. Die unterschiedliche Forschungsverteilung macht auch die Bezeichnung des einen der zwei dort zu Ehren Voltas parallel laufenden Kongresse als *»Kongreß der Physiker« (11.-17.9.1927)* und des anderen als *»Kongreß der Telefonie und Telegrafie« (1O.-16.9.1927)* deutlich.[32] Der eine, deren Mitglieder zum überwiegenden Teil aus Hochschulen kamen, nach den Individuen (in informellen Forschungsorganisationen) benannt, der andere nach dem Sachgebiet, das die formalen FO definierte, die dort Forschung und Entwicklung dominierten.

Als Trend läßt sich die Bewegung der Elektro- und Nachrichtentechnik von der Physik zu eigener Gesetzlichkeit veranschaulichen am Anteil, den physikalisch/naturwissenschaftliche Zeitschriften am Gesamtvolumen der Publikationen in der Elektrotechnik hatten. Waren von den zur Referierung im Jahrbuch der Elektrotechnik 1920 herangezogenen 59 Zeitschriften noch 24% allgemein naturwissenschaftlich/physikalische, so waren es von den 204 in 1926 referierten Zeitschriften lediglich noch 10%.[33]

---

[30] Terman (1976:1401).
[31] Vgl. Tabelle in Anmerkung in II.1.1.
[32] Voltiana-Festschrift (Como) 5; 10.9.1927.
[33] JBET vol. 9 (1920), 16 (1926).

Physikalische Basis der theoretischen Nachrichtentechnik war zunächst die Fourier'sche Theorie der Wärmediffusion in ihrer Kelvin'schen Anwendung, dann die Maxwellsche Elektrodynamik in ihrer Heaviside'schen Interpretation[34]: kurz die klassische Physik der Felder und Potentiale mit den mathematischen Methoden der Infinitesimalprinzipien, der harmonischen Analyse und der Differentialgleichungen.

Erster Anlaß, andere exakte mathematische Modelle zu nutzen, war im Fernmeldewesen die Planung und Dimensionierung von nachrichtentechnischen Systemen (der Fernsprechnetze), wobei man sich seit Beginn des Jahrhunderts der Wahrscheinlichkeitstheorie bediente.[35] Die Verkehrstheorie der Telefonie stellte nach der Ballistik das zweite Gebiet der Nutzung wahrscheinlichkeitstheoretischer Modelle in der Technik überhaupt dar.

Sie war die erste nicht-physikalische exakte Theorie im Fernmeldewesen.

Die Trennung von Forschung und Entwicklung des Betriebes und der Planung der Systeme einerseits von der der Produktion der Teile andererseits[36], ließ in F+E des letzten Bereiches die Physik lange dominieren, bzw. gab der Sicht des ganzen Gebietes, das dort im Kontext allgemeiner Elektrotechnik betrieben wurde, noch lange eine speziell physikalische Färbung.

Die unterschiedliche Zusammenfassung dieser Bereiche in dem europäischen und dem US-Fernmeldemarkt war für die verschiedenen Ansichten über die Rolle von Mathematik und Physik in der europäischen und amerikanischen Nachrichtentechnik von großem Einfluß.

Sah man in Deutschland die »Schwachstromtechnik« als Anwendung von Physik und Chemie[37], als Verschmelzung von Elektrotechnik und Feinmechanik[38] an, so sah man die »Electrical Communication« in den USA als ein Gebiet an, in dem Physik und Mathematik wichtige Beiträge geleistet hatten[39] bzw. in dem »new materials, new discoveries in mathematics or new concepts of atomic structure« (Jewett; 1936:144) neue Ergebnisse erhoffen ließen. In der deutschen Nachrichtentechnik neigte man dagegen dazu, vor der »Gefahr einer zu starken Betonung der Mathematik« (F. Bergtold; 1949:466) zu warnen und wies darauf hin, daß die »Formeln der höheren Mathematik ... kaum geeignet (sind), die Bildung wirklichkeitsgetreuer Vorstellungen zu erleichtern« (W. Kunst; 1940:161). Ganz zu schweigen davon, daß die Zeit der Naziherrschaft den allgemeinen Tenor der Forschung in der Technik noch weiter von der Mathematik wegrückte.

So zitierte H. Teichmann, von der Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost in einer Arbeit, in der er den »Kardinalfehler der sogenannten modernen Physik ... in der Überschätzung des eleganten mathematischen Formalismus« ausmachte (Teichmann; 1942:25) den Inspirator der »Deutschen Physik«, Ph. Lenard mit der für diese typischen Ansicht,

> »Grundsätzlich kann ... Mathematik nichts anderes bieten als gewöhnliches Denken auch, und wo letzteres genügt – was sehr oft der Fall ist – ist der ›mathematische Beweis‹ überflüssige Rechenübung.« (Lenard; 1936/37, 1:10)[40]

Wie der weitere Verlauf der Entwicklung zeigte, war es bezeichnend, daß der erste Mathematiker, der als solcher in der Industrie der USA arbeitete (Charles P. Steinmetz, General Electric in 1892) ein aus politischen Gründen aus Deutschland geflohener Mathematiker[41] war. Die Welle der in den 30er Jah-

---

[34] Vergl. II.2.2. und II.2.3.
[35] Vergl. II.2.3.2.1.
[36] Vergl. II.1.2 und Anhang 1.3.
[37] Niendorf, Bergmann (1942:1).
[38] So z.B. in Masing, Fischer (1937:253).
[39] Jewett (1937:130); Jewett (1932:135), Bryant (1939:36) oder Curry (1939:36).
[40] Zitiert nach Teichmann (1942:19).
[41] Brittain (1976:1414).

ren aus Deutschland vertriebenen Mathematiker war nicht nur ein wichtiger Faktor beim Aufschwung angewandter Mathematik in den USA[42], sondern zeigte vor allem das spezielle Verhältnis der Nazis zu dieser Wissenschaft.

Am krassesten tritt der Unterschied in der Bewertung der Mathematik in Elektrotechnik/Nachrichtentechnik zwischen Deutschland und den USA in den folgenden beiden Äußerungen des Direktors des AEG (Produktion Elektrotechnik/Nachrichtentechnik) Forschungslabors, Ramsauer, und des SeniorForschers der AT&T Co. (Produktion, Betrieb), Campbell, zutage:

> »Jede technische Entwicklung geht nur soweit, wie der Impuls ausreicht, den sie von der Physik empfangen hat. Die Spezialtechnik selbst ist nicht imstande, aus sich heraus grundlegende Fortschritte zu erzeugen, sondern muß diese immer wieder aus der *Physik* empfangen.« (Ramsauer; 1943:285 und 1947:234)[43]

> »Electricity is now preeminently a field for mathematics and all advances in it are primarily through *mathematics.«* (Campbell; 1924:551)

In der Weiterführung dieser Überlegungen betonte Campbell auch die Bedeutung der Mathematik für die Geschäfts-Seite der Industrie – ebenfalls im Unterschied zur deutschen Tradition.

Hinzu kam als weitere Bedingung der Chance, Mathematik als separate Forschungsaktivität in der AT&T-Forschung zu etablieren, die geringere mathematische Ausbildung von Ingenieuren in den USA als in Deutschland.[44] Für diejenige Phase der Forschung und Entwicklung, in der es um die Ableitung mathematischer Resultate aus der mathematischen Formulierung von technischen Problemen ging, war daher nicht der Ingenieur, sondern der Mathematiker zuständig.[45] In Deutschland konnte diese Aufgabe zu einem größeren Anteil von Ingenieuren wahrgenommen werden.

In der Forschung der AT&T lag, wegen dieser Ausbildungstradition und der dortigen Zusammenfassung von Betriebs- und Produktionsaspekten die Ausdifferenzierung separater mathematischer Forschung nicht sehr fern. So kam der AT&T Seniorforscher Campbell 1924 zu dem Urteil:

> »Industry can realize its greatest possibilities only with the aid of mathematicians . .. to ensure the success of industrial mathematics the industry must inaugurate mathematical research as early as possible.« (Campbell; 1924:557).

Kurzum, unter den Bedingungen der Fernmeldemarkt- und F+E-Struktur, der Ausbildungstradition und der politischen Philosophie konnte in Deutschland die Mathematik in der Nachrichtentechnik keine institutionell separate Rolle spielen. Leitdisziplin war die Physik. Noch 1967 sah man gelegentlich die »Nachrichtentechnik (als) einen Teil der Physik« (Peters; 1967:153) an.

---

[42] Vergl. Richardson (1943 b).

[43] (Hervorhebungen – F.H.) Dieser Satz tauchte identisch in zwei verschiedenen Vorträgen Ramsauers auf:

1. »Die Schlüsselstellung der Physik für Naturwissenschaft, Technik und Rüstung«in: Die Naturwissenschaften (1943) – es war der erste Artikel, der in dieser Zeitschrift unter der den mehr philosophischen Abhandlungen vorbehaltenen Rubrik ›Allgemeines‹, auftauchte und wenigstens zum Teil der Elektro- und Nachrichtentechnik galt. Der zweite war nach dem Krieg ein Aufsatz zu Informationstheorie und Physik!
2. »Die zentrale Stellung der Physik in der Ingenieurausbildung« (1947). Ramsauer war bis 1928 Ordinarius für Experimentalphysik an der TH Danzig und übernahm dann die Leitung des neugegründeten AEG-F+E-Institutes in Berlin (TFT 3;1928:87, ›Mitteilung‹)

Zu der obigen und anderen Thesen seines 1947-Vortrages hatte Ramsauer eine Umfrage unter Forschern und F+E-Instituten veranstaltet – und von einigen Physikern Ablehnung geerntet (Gerlach, Feldtkeller, v. Laue u.a.), jedoch, was das Gewicht der These stärkt – von den wichtigen deutschen Nachrichtentheoretikern Wallot, Zenneck und den F+E-Instituten von Siemens, AEG, Telefunken Zustimmung erhalten (Ramsauer; 1949:34 ff.) (Autobiografie).

[44] Zu diesem Urteil für die 20er Jahre kommt Emmerson (1973:290).

[45] So der Elektrotechnik-Prof. M.C. Malti in einem Vortrag »Mathematics and Physics in Engineering« (1939:38).

Als Folge ähnlicher Strukturen und Traditionen war in Großbritannien die (geringe) nachrichtentechnische Aktivität der Hochschulen noch lange im Rahmen der Physik betrieben worden – ein Faktor, der sich in den Ausbildungsprogrammen in Radar/Elektronik während des Krieges verstärkend bemerkbar machte und so die spezielle physikalische Färbung der Nachrichtentechnik noch verbreitete. Der Senior der britischen Elektrotechnik, Sir Willis Jackson, bemerkte dazu 1947:

> »From several points of view it was proper that in the most cases the teaching of the subject (of radio and radar) was conducted in Physics-Departments by physicists … Certainly in the circumstances which existed, this was the only practicable teaching arrangement.
>
> But radio is essentially an applied science and needs to be taught against a background of mechanical engineering als well as of physics and mathematics. I hope, that from now on, treated as a branch of telecommunications, the subject will be given much greater prominence in the departments of electrical engineering.« (Jackson; 1947:27)

Insofern bestand in der Sichtweise der Natur des Gebietes durchaus ein merklicher Unterschied zwischen den USA und den wichtigsten europäischen Ländern in der Nachrichtentechnik. Der Ausbildungsboom in angewandter Mathematik und die Aussaat von Gruppen angewandter Mathematik während des Krieges verstärkten in den USA die Bedeutung der Mathematik (III.1.2.). So stellte der frühere Leiter der mathematischen Forschung in den Bell Telephone Laboratories der AT&T, Hendrik Bode, über die Orientierung theoretischer Nachrichtentechnik nach dem Krieg fest:

> »The flavor is distinctly more mathematics. I am not sure that this is response to merits. I think it reflects also the fact that there were lots of young mathematicians around and needed something to work on. And they were not, I think, so interested in communications as such, but it did provide a possible field of operations.« (Bode; 1977:5/180)

Wenn man das immense Wachstum der Zahl der Mathematiker nach dem Krieg in der Industrie berücksichtigt, ist dies eine zutreffende Vermutung (IV.2). Diese Wandlung veränderte nicht nur den *Inhalt*, sondern auch den *Stil* nachrichtentechnischer Arbeiten. Waren bereits die Berichte der mathematischen Dienstleistungsgruppe (AMP) in der Kriegsforschungsorganisation der USA durch ihre besondere Eleganz aufgefallen, wie aus der folgenden Bemerkung eines der Sparten-Leiter dieser Organisation hervorgeht:

> »The AMP reports have impressed me as being extremely well written ... This sort of writing is so comparatively rare even in peace time that I think it is only common decency to tell you how well done these reports as a whole appear to be.« (H. L. Hazen an AMP-Leiter W. Weaver; 1944:1)[46]

so wurde später in einem Editorial der Proceedings der Institution of Radio Engineers der USA diesen der »mathematical style« für die Darstellung der Ergebnisse ihrer Arbeit in Veröffentlichungen ans Herz gelegt (Bingley; 1951:867).

[46] NAA 23.

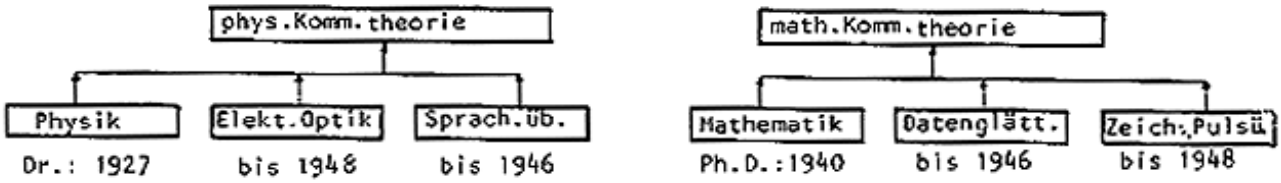
3.2 PHYSIKALISCHE UND MATHEMATISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE

3.2.1 DENNIS GABOR UND CLAUDE SHANNON

In den industriellen F+E-Labors der Nachrichtentechnik in Europa und den USA waren durch die oben genannten Faktoren unterschiedliche Rahmenbedingungen für die möglichen Strukturen elementarer FO, d.h. für die Gestaltung wissenschaftlicher Laufbahnen, gegeben.

In Abbildung 12 sind die wissenschaftlichen Laufbahnen für Gabor und Shannon – sehr vereinfacht – als elementare FO dargestellt.

ABBILDUNG 12: Die wissenschaftlichen Biografien von Dennis Gabor und Claude Shannon als elementare Forschungsorganisationen



Diese wissenschaftlichen Biografien waren ohne die Mathematische Forschung in nachrichtentechnischer F+E/Kriegsforschung einerseits (Shannon) und ohne F+E im Kontext von Elektrotechnik/Nachrichtentechnik in Produktionsunternehmen des europäischen Typs im Fernmeldemarkt andererseits (Gabor) nicht denkbar.

Die unterschiedlichen Theorien, Kommunikationstheorie von Gabor als *»branch of physics«* (1953:48), Informationstheorie von Shannon als *»branch of mathematics«* (1956) angesehen, waren damit mittelbar Resultate der unterschiedlichen Rahmenbedingungen in europäischer und amerikanischer nachrichtentechnischer Forschung.

Hinzu kam noch der Ausschluß Gabors von der Kriegsforschung (III.3.1), der für eine gewisse Phasenverschiebung der beiden Theorien bzgl. aktueller nachrichtentechnischer Probleme verantwortlich war.

3.2.2 TECHNISCHE UND THEORETISCHE MODELLE

Gabor betrachtete in seiner Theorie die analoge Technik der Sprachübertragung (Telefonie), für die er versuchte, ein Maß für die Bandbreiteneffizienz von Übertragung und Empfang aufzustellen. Gleichzeitig leitete er anhand dieses Maßes eine effizientere Übertragungsmethode ab. Ebene der Analyse war die Signalstruktur in Abhängigkeit von der Übertragungs- und Empfangs-methode. Grundlegende theoretische Methode war die Fourieranalyse, mit deren Hilfe Gabor als neues theoretisches Modell den Begriff des Einheitsimpulses – charakterisiert durch ein festes Produkt aus zeitlicher Dauer und

eingenommener Bandbreite – als grundlegende Einheit der Analyse von Signalen entwickelte. Als ein (Neben)Resultat seiner Arbeit verkündete Gabor:

> »I want to put in a plea for the teaching of Fourier integrals« (1948a:6)

als einer für den Ingenieur außerordentlich weit anwendbaren theoretischen Methode – in Nachrichtentechnik, Optik, Hydrodynamik.

Bereits 1930 war in der Zeit der Beherrschung der Nachrichtentechnik durch die analogen Techniken Telefonie (Übertragung) und Rundfunk die »Schwingungsforschung« im Heinrich-Hertz-Institut in Berlin, von der Nachrichtentechnik her kommend, als eine interdisziplinäre Methode institutionalisiert worden (Anhang I.2).

In einer Untersuchung von »Fashions in Mathematics« kam Curtiss (1937:559) zu dem Schluß, daß 1930 46% aller mathematischen Publikationen (einer von ihm als repräsentativ angesehenen Materialbasis) *analytischer* Natur waren, die noch 1910 aber nur 38% ausgemacht hatten. Der Anteil *algebraischer* Arbeiten war von 11% (1910) auf 7% (1930) gefallen.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieser Arbeit, die für die 30er Jahre eine wachsende Bedeutung analoger Techniken und der theoretischen Modelle der harmonische Analyse und Differentialgleichungsmathematik zeigen, erscheint dies nicht unplausibel.

Diese theoretischen Modelle, Physik und analoge Techniken, bildeten eine charakteristische Einheit, die die Nachrichtentechnik der dreißiger Jahre kennzeichnete.

Anders war dies bei der Shannon'schen Theorie, die von den digitalen Techniken der Zeichenübertragung in Telegrafie, Kryptografie und PCM ausging. Für diese stellte Shannon ein allgemeines Effizienzmaß auf – mit dessen Hilfe er ebenfalls gleichzeitig eine effizientere Übertragungsmethode ableitete – die PCM (die allerdings bereits zuvor unabhängig davon erfunden worden war) (III.3.4.).

Ebene der Analyse waren Nachrichtenstruktur (wobei er Methoden der Kryptografie nutzte) und Signalstruktur (wobei er Methoden der Wienerschen statistischen Kommunikationstheorie nutzte).

Grundlegende theoretische Methoden waren Algebra/Logik und Wahrscheinlichkeitstheorie/mathematische Statistik.

Shannons mathematischer Hintergrund war verschieden von dem der zunächst üblicherweise in der mathematischen Forschung der Bell Telephone Laboratories beschäftigten Mathematiker:

> »In a mathematical sense most of the people in the mathematics group are analysts. lt is not very surprising … because this is the immediate applicable mathematics in many cases ... But I would call Shannon an algebraist.« (Bode; 1977:1/250)

Die Verbreitung digitaler Techniken und die Verbreitung der Shannonschen Informationstheorie als eines theoretischen Forschungsprogramms führten zur Verbreitung dieser Struktur-Modelle in der theoretischen Nachrichtentechnik – auf Kosten der klassischen physikalisch/analytischen Differentialgleichungsmodelle, wie sie von Gabor noch propagiert worden waren. Sie verbreiteten sich innerhalb der mathematischen Forschung der Bell Laboratories:

> »For some years after Shannons work we hired more people ... who had an obvious flair for the abstract … (in) certain points of algebra and logics rather than pure conventional analysts – pure people who had written a new differential equation just last thursday ...

> So we switched a little bit from the conventional area, the differential equations, to the somewhat more abstract, but rather slowly … And we brought in enough such people so that they wouldn't feel alone.« (Bode; 1977:6/330)

und auch außerhalb in der Ausbildung von Elektro- und Nachrichtentechnischen Ingenieuren. So sagte Anderson (1951:509) in seiner Untersuchung der mathematischen Ausbildung von Elektroingenieuren in den USA die wachsende Bedeutung der mathematischen Statistik in deren graduate-training voraus, u.a. als eine Folge von »Shannons work in the field of communications«. Generell wuchs die Bedeutung von »discrete state systems and their analysis« (Truxal; 1962:85) und, was für die Ausbildung noch wichtiger war, man nahm deren weiteren Bedeutungszuwachs als sicher an.

Die folgende Äußerung eines Informationstheoretikers macht den Trend explizit:

> »There is a very important trend toward discrete-state systems in our technology and perhaps to a lesser extent in our education ... it seems to me that this trend ... is becoming more and more obvious in the years to come. One result will be that such initial courses as the Laplace-transformation will become less important and the emphasis will turn toward courses on algebra, Markov-chains etc.« (Zadeh; 1962:85)

Unterschiedliche Nachrichtenübertragungstechniken implizierten unterschiedliche theoretische Methoden und Modelle. Dies galt in genau der gleichen Weise auch für analoge und digitale Nachrichtenverarbeitungstechniken. Um dies zu verdeutlichen, lohnt es sich, kurz auf einen Aspekt der Geschichte analoger und digitaler Computer einzugehen, nämlich die bekanntermaßen jeweils spezielle Bedeutung von

> *»scientific and engineering usages«* (Goldstine; 1972:65) für die Entwicklung *analoger* Computer (wie durch Kelvin oder Michelson)

und von

> *»statistical and commercial needs for computation«* (ebd.) für die Entwicklung *digitaler* Computer (wie durch Hollerith oder Billings).

Lange waren beide Techniken und ihre Anwendungen voneinander entlang dieser Linie getrennt: die analog zu lösenden Differentialgleichungen für statistische und geschäftliche Kalkulationen nicht von Bedeutung gewesen, die simplen algebraischen Rechnungen mit großen Datenmengen, die digitale Rechner ausführen konnten, für die Physik von geringem Interesse (was auch den unterschiedlichen Stand theoretischer Modelle in beiden Bereichen widerspiegelte).

Erst 1940 kam es zwischen der Physik und den numerischen Lochkartenrechnern zu einer ersten Berührung – mit der Etablierung des »Thomas J. Watson Astronomical Computing Bureau«, das von W. J. Eckert gegründet worden war, und von IBM, der American Astronomical Society und dem Astronomie-Department der Columbia Universität getragen wurde.[47] Eckerts Ziel war es, den Wert numerischer Rechenanlagen auch anderen Wissenschaften nahezulegen.[48]

Bezeichnend für die Loslösung der Computerentwicklung von der Physik seit dem »Siegeszug« der digitalen elektronischen Computer ist auch die Tatsache daß wissenschaftlich/technische Artikel zu »Calculating Apparatus« bis einschließlich 1946 in Science Abstracts Ser. A *(»Physical Sciences«)*, ab 1947 aber in Ser. B, *»Electrical Engineering«* referiert wurden.

---

[47] Goldstine (1972:109).
[48] Eckert (1940).

So wie die Theorie der Rechenmaschinen von der Physik in Elektrotechnik und Mathematik überging, löste sich auch die Nachrichtentheorie mit der Digitalisierung der Technik von der Physik.

Diese Bewegung war, nach dem oben Gesagten nicht überraschend, in den USA viel ausgeprägter als in Europa.

So wie bereits die Sichtweise der Nachrichtentechnik in Europa mehr physikalisch geprägt war als in den USA, so galt dies auch für die Kommunikationstheorien.

Ein im Grunde überraschendes Ergebnis, daß die theoretische Nachrichtentechnik in den USA viel eher abstrakt theoretisch/mathematisch/»philosophisch« orientiert war als die der europäischen Kollegen. In der Informationstheorie war dies einer der Aspekte des Unterschieds zwischen der »American or stochastic school« (Gabor; 1952:46) und der »European school of information theoreticians« (Bar-Hillel; 1955:104), zu der u. a. Dennis Gabor und Colin Cherry gezählt wurden.

Letzterer, äußerte sich über die Mathematiker in der Nachrichtentechnik:

> »I am not anti-mathematician … but I don't get on with those of them who are proud of being ›pure‹. It would be false pride; because taking pride in intellectual purity suggests a narrow-minded view of the world.« (Cherry; 1976:1/1417)

Auch in technischer Hinsicht besteht noch eine entsprechende Differenz zumindest zwischen Deutschland und den USA, wo ein deutlicher Vorsprung der USA noch heute in digitaler Technologie zu registrieren ist, während in analoger Technik beide Länder gleichauf liegen.[49]

Innerhalb der Diskussion in den USA war die Verlagerung des Schwergewichtes von den technischen und theoretischen Modellen digitaler Systeme weder begrifflich noch technisch ohne jede Schwierigkeit.

Die begriffliche Umorientierung wurde von einigen Informationstheoretikern, aufgewachsen »in love with the differential analyzer« (MacMillan; 1977:3/ 1280) durchaus als eine »painful experience« (MacMillan; 1977:3/1300) erfahren. Shannon's Chef in der Mathematischen Forschung der Bell Laboratories erinnerte sich:

> »When he (Shannon) started telling me about what he was doing I recall quite vividly that it took me a little while to get reoriented and see the force of the digital argument« (Bode; 1977:1/1070).

In technischer Hinsicht hatten sich die digitalen Systeme erst als besser zu erweisen, als die bereits existierenden analogen:

> »The analog people were the ones who were in charge of the existing systems, working on them. They were grown up in the analog domain. You had to prove to them that your system was better, because what you had was a new system.« (Bennett; 1977:2/1255)

Dies war einer der Gründe für die viel spätere Durchsetzung digitaler Nachrichtenübertragung, als zunächst allgemein erwartet worden war. Die theoretische digitale Euphorie war der technischen Realität weit vorausgeeilt – ermöglicht durch die Nachkriegs-Forschungsbedingungen in den USA (IV.).

---

[49] In Frankfurter Allg. Zeitung; 30.11.1976 »Bei der Elektronik geht es nur in weltweiter Kooperation«.

3.3 PHYSIK UND INFORMATIONSTHEORIE

Der Wandel theoretischer Methoden, wie ihn u.a. die Shannonsche Informationstheorie und die statistische Kommunikationstheorie Wieners für die theoretische Nachrichtentechnik mit sich gebracht hatten – von den Differentialgleichungs- und *Feld-Modellen* der apalogen Techniken und der Physik zu den statistisch/algebraischen *Strukturmodellen* war in ähnlicher Weise 30-40 Jahre zuvor innerhalb der Physik vonstatten gegangen. Dort hatte sich – eng verknüpft mit den Begriffen der Beobachtung und der Messung die wahrscheinlichkeitstheoretische statistische Physik von der klassischen Physik der Felder und den Differentialgleichungsmethoden ihrer Analyse getrennt.[50] Da diese beiden ähnlichen Bewegungen jeweils stets vollständig intern zu erklären sind, d. h. ohne direkten ursächlichen Zusammenhang, erhebt sich die Frage, welche vergleichbaren Gründe dahinterstanden.

In der Physik war diese Bewegung mit der Erkenntnis der prinzipiellen Bedeutung von Fehlern und Ungenauigkeiten als Grenzen der Meßbarkeit verbunden gewesen.[51]

In zweierlei Hinsicht war die Physik an die Grenzen des Meßprozesses gelangt:

– in der Quantenmechanik bei der Messung verschiedener Parameter von atomaren Einzelereignissen, d. h. z. B. von Ort und Impuls von Elementarteilchen, und

– in der statistischen Mechanik bei der Messung von Zeitreihen, die durch die thermischen Schwankungen mikroskopischer Partikel zufällig gestört wurden.

Es wurden Modelle entwickelt, die diesen Grenzen Rechnung trugen – die Heisenbergsche Unschärfe-Relation und die Theorie der Brownschen Bewegung.

Diese Grenzen waren auf die Beeinflussung des gemessenen Vorgangs durch den Prozeß der Messung zurückzuführen, ein Bereich, in den man gelangt war, weil sich sowohl in mechanischen wie elektrischen Meßinstrumenten (thermische Schwankungen) als auch bei optischen Meßmethoden (Unschärfe) die (energetischen) Größenordnungen von gemessenen Prozessen und Meßverfahren immer weiter angenähert hatten.

In der Nachrichtentechnik hatten die folgenden technischen Entwicklungen Störungen eine prinzipielle Bedeutung zukommen lassen:

– die Vergrößerung der Fernmeldesysteme, in denen sich eine immer größere Zahl unabhängiger Störfaktoren zu einem normal-verteilten Störungspegel addierten.[52]

– die Erhöhung der Frequenzbereiche ließ den Einfluß der thermischen Bewegungen der Leitungselektronen als Störungen immer mehr in Erscheinung treten.

– die Verbreitung der Funktechnik brachte störanfällige Übertragungswege und die Notwendigkeit großer Verstärkungsfaktoren – beides ließ thermisches Rauschen und andere Zufallsstörungen an Bedeutung gewinnen.

Einheitlich läßt sich dies als die Registrierung der Einflüsse von immer mehr und immer kleineren Prozessen beschreiben, deren Wirkungen sich zu einem zufälligen Störpegel addierten:

---

[50] V. Mises (1930146 f.).
[51] V. Mises (1930:151), v. Mises, 1930a).
[52] Dies war der Ausgangspunkt der Arbeit von Rice (1944), in der dann auch die anderen genannten Rausch-Quellen berücksichtigt wurden.

a) direkt durch die Erhöhung der Frequenzen und Verstärkungsfaktoren bzw. die Verfeinerung der Meßmethoden

b) indirekt durch das Wachstum von Größe und Komplexität der nachrichtentechnischen Systeme.

Man kann vermuten, daß bei dieser Analogie der Probleme übertragungen theoretischer Modelle auftauchten, im gleichen Sinn, wie dies allgemein in 1.2 diskutiert wurde.

Dieser Modelltransfer trat in mehrfacher Hinsicht tatsächlich auf, in den meisten Fällen durch den übergang zur Kriegsforschung gefördert.

1918 war die allgemeine mathematische Theorie der Brownschen Bewegung von Norbert Wiener formuliert und danach weiter entwickelt worden zu einer verallgemeinerten harmonischen Analysis, die auch die stochastischen Bahnverläufe der Teilchen bei der Brownschen Bewegung einschloß.[53] Diese Theorie wendete er auf die Analyse und Vorhersage der Bahnverläufe von Flugzeugen in der Feuerleitung an, um sie in dem technisch direkt damit verbundenen Problembereich der Analyse von Radarsignalen zu einer statistischen Filtertheorie zu verallgemeinern und so

»aus der Nachrichtentechnik ... einen Zweig der statistischen Mechanik« (Wiener; 1968:30)

zu machen. Bereits 1929 hatte Leo Szilard in einer Arbeit gezeigt, daß unter den Voraussetzungen der statistischen Mechanik elementare mikroskopische Meßprozesse gerade die Entropie erzeugten, die durch das Ergebnis der Messung gewonnen worden war. Die Kenntnis dieser Arbeit gelangte durch John von Neumann in die Nachrichtentechnik. In ihr war das erstemal ein Meßvorgang als ein entropischer Prozeß verstanden worden. Unabhängig von dieser Arbeit, die Shannon erst später bekannt wurde, hatte er sein Maß der Informationsmenge als Entropie erkannt. Gabor schließlich hatte sich im Zusammenhang mit seinen Arbeiten zur Elektronenmikroskopie mit deren Begrenzung durch die Unschärfebeziehung befaßt gehabt, die er als theoretisches Modell in die Nachrichtentechnik übertrug und daher auch gelegentlich von der »quantum theory of communication« sprach (Gabor; 1948:6).

Dennoch, Versuche der physikalischen Weiterungen der Informationstheorie Shannons, etwa mit Hilfe des Brillouinschen Prinzips der »Negentropie« als der Information (1956) ließen die Informationstheoretiker der Shannon'schen »Schule« unberührt. Einige Kommentare:

Shannon: »I am not terribly strong in those fields« (1977:2/60)

Slepian: »I never really understood those things« (1977:1/1190)

Gilbert: »I don’t know of anybody who really got interested in that too much« (1977:2/80)

Diese Ignoranz war nicht zufällig, sondern lag prinzipiell in den unterschiedlichen Fragestellungen von Physik und Nachrichtentechnik, wie sie sich in der Informationstheorie widerspiegelte: in der unterschiedlichen Situation des Beobachters und seiner Einflußmöglichkeiten in Physik und Nachrichtentechnik.

Während dort tatsächlich nur ein Beobachter existierte – streng getrennt vom beobachteten Prozeß in der *klassischen Physik,* auf das Beobachtungsergebnis einwirkend in der *Quantenmechanik,* trat in der *Informationstheorie* mit der Variablen der Codierung ein völlig neuer Gesichtspunkt hinzu: die direkte Gestaltungsmöglichkeit des beobachteten Prozesses,um ihn den Bedingungen der Beobachtung optimal anzupassen. Die Aussage der Shannon’schen Theorie bestand in dem Nachweis der Existenz eines

[53] Wiener (1930). Zur Darstellung der Entwicklung vergl. Hersh (1978).

Codiersystems, das trotz der Störungen der Beobachtung (Übertragung) diese beliebig zuverlässig macht (unter gewissen Voraussetzungen).

Nur innerhalb dieses und einiger anderer Theoreme hatte für die Informationstheoretiker der Shannon'sche Informationsbegriff reale Bedeutung.[54] Dies Theorem konnte für die Physik, wo die Variable der Codierung prinzipiell nicht existiert, jedoch keine vergleichbare Rolle spielen.

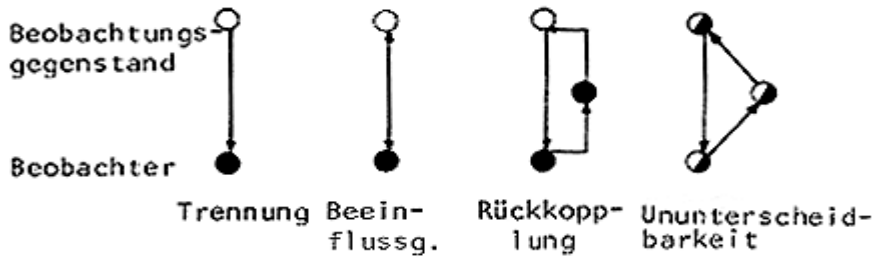
Physiker wie Gabor (1952:2f.) und andere gingen daher stets der Entsprechung des Informationsbegriffes in der Realität selbst nach. Dies trug ihnen gelegentlich von Informationstheoretikern die Bezeichnung »mystical school« (MacMillan; 1970:6) oder »entropy worshippers« (ebd. :12) ein.

Daher auch der Satz eines Nachrichtentechnikers,

»I think I have never met a physicist who understood information theory.« (Pierce; 1973:7)

Die Abbildung 13 veranschaulicht zum Schluß die unterschiedlichen Relationen von Beobachter und beobachtetem Gegenstand in klassischer Physik *(Trennung),* neuer Physik *(wechselseitige Beeinflussung),* Informationstheorie *(Rückkopplung)* und Automatentheorie (wo in selbstkorrigierenden Schaltnetzwerken zwischen registrierender und registrierter Einheit *prinzipiell keine Unterschiede* mehr bestehen können).[55]

ABBILDUNG 13: Relation zwischen Beobachter und Beobachtungsgegenstand in Physik und Nachrichtentechnik



[54] Dessen Form als eine Entropie, so Shannon, »and the assumptions required for its proof, are in no way necessary for the present theory. It is given chiefly to lend a certain plausibility to some of our later definitions. The real justification of these definitions, however, will reside in their implications« (Shannon; 1948:9)
Diese Argumentation spielt bei den Darstellungen des Informationsbegriffes durch die ITh.-Autoren eine entscheidende Rolle: so z. B. MacMillan (1953:16): »The mathematical theory does not imply anything about the ordinary or intuitive meanings of these evocative words«.

[55] Eine der ersten Veröffentlichungen, in denen dies deutlich gemacht wurde, waren die Diskussionsbeiträge von Shannon (:30) und Moore (:26) auf der IRE National Convention 1954, Session on Electronic Computers (in IRE Trans. on Electronic Computers, vol. EC-3; 1954, 4:25 ff.) über die Organisierung von Maschinen zu ihrer gegenseitigen Funktionsüberwachung und Reparatur.

II INDUSTRIEFORSCHUNG UND TECHNIK (1924-1939)

1. DIE FORSCHUNG

1.1 GRÖSSE UND BEDEUTUNG NACHRICHTENTECHNISCHER FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSORGANISATIONEN

Die Position eines Landes im Fernmeldewesen und seine Rolle in der nachrichtentechnischen Forschung und Entwicklung hingen linear miteinander zusammen. Die größte Rolle für die Nachrichtentechnik der zwanziger und dreißiger Jahre wie auch für die Anfänge der Informationstheorie in dieser Zeit spielten die Bell Telephone Laboratories der American Telephone and Telegraph Co.

Nahezu in der gesamten Periode zwischen den Weltkriegen war die Nachrichtentechnik in den USA quantitativ unvergleichlich weiter entwickelt als in den wichtigsten Industrieländern Europas: mehr Telephone und mehr Leitungskilometer als in allen anderen Ländern der Welt zusammengenommen waren in den USA in Betrieb ebenso wie auch mehr Rundfunksender und -empfänger.[56]

New York besaß fast über die gesamte Periode mehr Telefonanschlüsse als die drei größten europäischen Ortsnetze, London, Berlin und Paris zusammen; Chicago noch mehr, als Berlin und Paris zusammen, 1928 hatten New York soviel wie Großbritannien, Chicago wie Frankreich insgesamt. In Tabelle 1 sind für die Jahre 1921, 1928, 1933 und 1940 diese Angaben einander gegenübergestellt.

TABELLE 1: Internationaler Vergleich des Standes des Fernsprechwesens 1921-1940

a) Telefonanschlüsse der wichtigsten Länder in Millionen und in Prozent der Welttelefonzahl

Länder	absolut			
Jahr	USA	Deutschland	Großbritannien	Frankreich
1921	13,3	1,8	1,0	0,5
1928	18,5	2,8	1,6	0,9
1933	17,4	3,0	2,1	1,3
1940	20,8	4,2	3,4	1,6

Anteil an Weltzahl				
1921	63,9/%	8,9%	4,7%	2,3%
1928	59,8%	9,1%	5,3%	2,9%
1933	52,9%	9,0%	6,5%	3,9%
1940	48,9%	9,9%	7,9%	3,7%

b) Telefonanschlüsse der wichtigsten Städte in Millionen

[56] Dieser Index bezeichnet allerdings die Größenordnung einer Massenproduktion im übl ichen Sinn und möglicherweise einer Verkaufsstrategie – nicht aber wie die Anzahl der angeschlossenen Telefone die Aufnahmefähigkeit eines technischen Systems, wie des Fernsprechnetzes. Daher ist die Zahl der verkauften Rundfunkempfänger kein vergleichbarer Index für den Umfang von F+E in der Rundfunkindustrie: »from 1928 to 1941 sales promotion and production engineering were much more important than research in stimulating demand for the ordinary home radio« (MacLaurin; 1949:140). Vergl. Abschn. 11.2.6

Jahr	New York	Chicago	Berlin	London	Paris
1921	0,9	0,6	0,2	0,3	0,2
1928	1,6	0,9	0,5	0,6	0,3
1933	1,6	0,8	0,5	0,8	0,4
1940	1,7	1,0	0,6	0,7	0,4

Quellen: Telephone Statistics of the World, in BTQ 1;1922,3:45ff. Weltfernsprechstatistiken 1.1.1928; 1.1.1933; 1.1.1940 in EFD 14;1929:269 ff – 36;1934:181ff – 60;1942:66ff.

Nach den USA, deren Anteil an den in der Welt angeschlossenen Telefonen stets über 50% lag, war Deutschland mit einem Anteil von etwa 9% der Welttelefone stets an zweiter Stelle, gefolgt von Großbritannien, das in der letzten Zeit vor dem zweiten Weltkrieg seinen Anteil auf 8% steigerte. An dritter Stelle lag Frankreich mit ca. 3% der Welttelefone.[57]

Es sollte nicht überraschen, wenn für das Verhältnis der nachrichtentechnischen Forschung – in der Zahl der Mitarbeiter gemessen – dieser Länder zueinander ähnliches galt: je höher der Stand der Technik – desto größer die Rolle eines Landes in der Forschung.[58]

Am besten läßt sich dieser Zusammenhang an der nationalen Zusammensetzung des ersten internationalen Fachkongresses der Nachrichtentechniker und -theoretiker, Como 1927, veranschaulichen.

In Diagramm 1 ist die Anzahl der Teilnehmer aus jedem Land (multipliziert mit der Entfernung, aus der die jeweilige Delegation anreisen mußte[59], über dessen Anteil an der Zahl der Fernsprechanschlüsse in der Welt aufgetragen. Mit erstaunlicher Genauigkeit sind sich Anteil an der Technik und Anteil an der internationalen Fachgemeinschaft – wie sie sich 1927 auf dem Kongress in Como darstellte, einander proportional.[60] Lediglich aus Deutschland kamen überproportional mehr Teilnehmer.

[57] Noch vor Frankreich lag für eine geraume Zeit Kanada, dessen größte Telefongesellschaft, die Bell of Canada, allerdings zum Teil in Händen der AT&T war (Coon; 1939:156) und von deren technischem know-how zehren konnte.

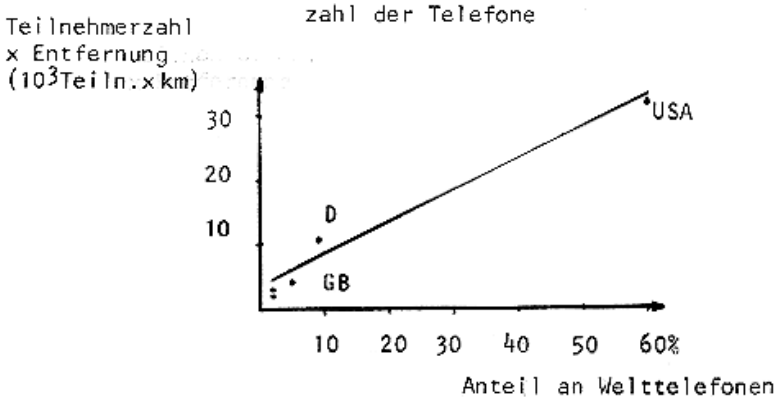
[58] Auf der Ebene einzelner Unternehmen war der Zusammenhang zwischen Forschungsaufwand und Geschäftsvolumen klar. So z. B. in einer Übersicht des Nat.Res.Council der USA (Cooper, 1941:184), wo man ein mittleres F+E Volumen von 6% des Nettoeinkommens für die Industrieforschung der USA ermittelte.

[59] Um den zufälligen Effekt der räumlichen Entfernung zum Kongreßort auszuschließen, wurde diese zunächst unanschaul iche Größe gewählt, die letztlich die Höhe eines Reisefonds angibt. Dieser hängt seinerseits offenbar direkt mit dem Geschäftsvolumen zusammen. Gerechnet wurde die Entfernung zwischen Como und der jeweiligen Hauptstadt, in der stets auch die nachrichtentechnischen F+E-Einrichtungen konzentriert waren.

[60] Man könnte fast versucht sein, eine entsprechende Steuerung der Kongreßzusammensetzung durch die Veranstalter nach einem Proporz-System anzunehmen. Wie aus der Diskussion der Einladung innerhalb der AT&T jedoch hervorgeht, war die Teilnehmerzahl Sache der von den Veranstaltern angeschriebenen Institutionen (BAA, A.D. Arnold Cabinet, Drawer 4, Folder H0A-Bk-15, Brief an E.H. Colpitts, 20.1.1927 über Teilnahme von ATT-Leuten an Volta-Konferenz).

DIAGRAMM 1: Der Internationale Kongress der Fernmeldetechniker, Como 1927

Der Anteil der Teilnehmerländer an der Weltzahl der Telefone



Ein nicht viel anderes Bild ergibt sich, wenn man direkt die verschiedenen F+E-Organisationen in der Nachrichtentechnik in ihrer Größe miteinander vergleicht.

In Tabelle 2 sind für Mitte der zwanziger Jahre die F+E-Institutionen der größten Betriebs- und Produktionsunternehmen der Nachrichtentechnik einander gegenübergestellt. Ebenso unterschiedlich wie der organisatorische Kontext, in dem die verschiedenen F+E-Einheiten standen, war die Kombination von Aufgaben, die sie wahrzunehmen hatten und ihre interne Struktur. Diese wird im Anhang bzw. weiter unten für die wichtigsten näher untersucht.

TABELLE 2: Größe und Funktionen der wichtigsten nachrichtentechnischen F+E-Organisationen in der Mitte der zwanziger Jahre

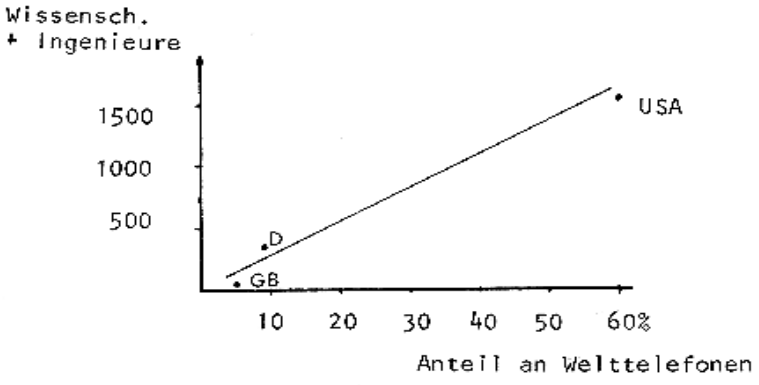
Name	Funktionen		Mitarbeiter	davon Wiss.u.Ing.	Jahr
Bell Telephone Laboratories[61]	GrF-F+E-Ko:	Produktion	3.500	1.400	1925
Res.Dept.	GrF-F		598		1925
AT&T, Department of Developm.& Res.[62]	F+E:	Betrieb	400	160	1925
Siemens&Halske, Zentrallabor[63]	F+E:	Produktion	300	140	1925
Siemens Forschungslabor[64]	F:	Produktion		90	1925
Telegraphentechn. Reichsamt[65]	F+E, V, B:	Betrieb	1.139	125	1923
General Post Office Research Station[66]	F+E:	Betrieb	180	36	1924
Zum Vergleich:[67]					
General Electric Res.	GrF-F:	Produktion	330	174	1925
Westinghouse Electric and Manufacturing	F+E:	Produktion	118	1925	

GrF: Grundlagenforschung F: Forschung E:Entwicklung
Ko: Konstruktion V: Verwaltung B:Beschaffungswesen

[61] Quellen: »Bell System Research and Development« May 1967:3.1 und 3.3 AAA, Box 2061 und für die Angabe zur Größe des Research Dept. Fagen (1976:53).
[62] »Notes on Organization of BTL«, AAA, Box 53.
[63] Diagramm im ZL-Jahresbericht 1960/61, SAA Li 869.
[64] Jahresberichte des Forschungslabors, SAA, Li 186.
[65] Die Angabe von 1923 stellt bis 1925 den höchsten Stand der Personalstärke dar (TRA Bericht; 1925).
[66] M. Holland (21.11.1924:12).
[67] MacLaurin (1939:167 und 176).

Der Vergleich zeigt die beispiellose Größe der Bell Telephone Laboratories[68] und die Integration des gesamten Spektrums von FE von der Grundlagenforschung bis zur Konstruktion in dieser Organisation. Selbst die Forschungsabteilung allein war noch wesentlich größer als die anderen dort genannten Forschungseinrichtungen (bei dem Telegraphentechnischen Reichsamt muß man in Rechnung stellen, daß ein Großteil der Arbeit dieser Einrichtung ganz anderer Natur als F+E war, die vergleichsweise geringe Zahl der Wissenschaftler und Ingenieure im Verhältnis zur Gesamtzahl der Angestellten spricht für sich). General Electric und Westinghouse waren die für F+E in der Nachrichtentechnik der USA zwischen den Weltkriegen nächstwichtigen Unternehmen – allerdings zusätzlich noch in allgemeiner Elektrotechnik aktiv, und vor allem auf Funktechnik konzentriert.

DIAGRAMM 2: F+E-Wissenschaftler und Ingenieure der Nachrichtentechnik in den 3 wichtigsten Ländern und deren Anteil an Welttelefonzahl



Im Diagramm 2 ist die Anzahl der in den nachrichtentechnischen F+E-0rganisationen der USA, Deutschlands und Großbritanniens arbeitenden Wissenschaftler und Ingenieure aus Tabelle 2 wieder über dem Anteil der Länder an der Zahl der Telefone in der Welt (im Jahr 1927) aufgetragen. Es zeigt sich ein ganz ähnlicher linearer Zusammenhang wie in Diagramm 1.[69] Der Kongress in Como 1927 spiegelte also die tatsächlichen Verhältnisse der nachrichtentechnischen Forschung und Entwicklung der verschiedenen Länder recht gut wider.[70]

Es erscheint daher angebracht, die institutionelle Herkunft der Teilnehmer des »Internationalen Kongresses der Telephonie und Telegraphie« auf der Volta-Gedenkveranstaltung 1927 in Como zu be-

---

[68] Zum Vergleich sei eine vom National Research Council der USA 1927 zusammengestellte Übersicht über die industriellen F+E-Organisationen zitiert (Corse; 1928:4 f.). Danach waren 1927 die 4 größten Organisationen:

Bell Telephone Laboratories	2000 Wissensch.u.Ingenieure
E.I.du Pont de Nemours & Co.	943
General Electric Co.	672
International Harvester Co.	619
auf Platz 7:	
Westinghouse Electric & Mfg.Co.	329

Hierbei handelt es sich allerdings stets um die Gesamtzahl der in den Unternehmen in F+E tätigen Wissenschaftler und Ingenieure – nicht um die in einer F+E-Organisation zusammengefaßten.

[69] Dabei ist diese Zusammenstellung noch recht ungenau, da für die USA sicher zuviel Wissenschaftler und Ingenieure angegeben wurden – wegen der Aktivitäten von Westinghouse und General Electric außerhalb der Nachrichtentechnik, und für Deutschland und Großbritannien zuwenig, da dort ein Teil der bzw. die gesamte industrielle F+E nicht eingerechnet wurde.

[70] Am unteren Ende der Skala lagen Einrichtungen wie die der französischen Telefon- und Telegrafenverwaltung, von denen es 1924 aus amerikanischer Sicht hieß, sie seien »little more than poorly equipped experimental shops« (Holland; 1924:23) oder das 1929 eingeweihte russische Zentrallaboratorium für Fernmeldewesen mit seinen insgesamt 119 Mitarbeitern (Kruckow, »Das russische Zentrallabor für Fernmeldewesen« in EFD 10;1929:315).

trachten.[71] Von den 32 Autoren, die Vorträge auf diesem Kongress hielten, kamen 11 aus Industrie bzw. AT&T, 10 aus staatlichen Postverwaltungen, 8 aus Technischen Hochschulen und Universitäten und 3 aus anderen Institutionen (wie dem Heinrich Hertz Institut für Schwingungsforschung oder der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt). Aussagekräftiger werden diese Angaben, wenn man nur die nachrichtentechnisch entwickeltsten Länder betrachtet: Deutschland, USA und Großbritannien.

In Tabelle 3 sind die entsprechenden Zahlen zusammengestellt.

TABELLE 3: Institutionelle Herkunft der Teilnehmer am Internationalen Kongress der Nachrichtentechniker, 1927, in Como aus den drei wichtigsten Ländern

Land	Post	Industrie	TH/Uni	andere Inst.
Deutschland	5	5	2	2
USA	–	4	1	–
Großbritannien	3	1	–	–

Die Verteilung, wie sie sich hier für die verschiedenen Länder zeigt, ist in mehrfacher Hinsicht interessant:

In den nachrichtentechnisch weiterentwickelten Ländern spielt die Forschung der Hochschulen eine vergleichsweise geringere Rolle als in den technisch weniger entwickelten Ländern: in Großbritannien gar keine – was die Aussage bestätigt, daß hier die Hochschulen bis zum Zweiten Weltkrieg generell eine Abneigung gegen technische Forschung gehabt hatten[72]; in den USA und Deutschland eine gewisse, aber nicht sehr große Rolle. Das institutionelle Spektrum, über das die nachrichtentechnische Fachgemeinschaft Ende der zwanziger Jahre sich verteilte, war in Deutschland besonders breit, die Beziehungen zwischen staatlicher Verwaltung, Industrie, Hochschulen und besonderen Institutionen wie dem »Heinrich Hertz Institut für Schwingungsforschung« waren besonders eng. Vergleichbare Einrichtungen gab es weder in den USA, noch in Großbritannien.[73]

Sieht man einmal von der Frage nach der Bedeutung der Hochschulen ab, die eigentlich erst im Zusammenhang mit der Nachkriegsentwicklung der Informationstheorie nach 1948 eine Rolle zu spielen beginnen, so zeigt sich zuallererst die entscheidende Rolle, die die in staatlichen Verwaltungen und

---

[71] Nach dem Verzeichnis der vortragenden Teilnehmer in EFD; 1927, 10:107 »Verzeichnis sämtlicher auf der internationalen Tagung der Fernmeldetechniker in Como gehaltenen Vorträge«
Im einzelnen waren dies:
USA: Buckley, Hartley (BTL), Campbell, Carson (ATT, D&R), Kenelly – dieser wurde angegeben als »Harvard Univ.«, wo er Physikprof. war; in dieser Funktion war er zu dem gleichzeitig stattfindenden Physikerkongreß in Como geladen, für den Kongreß der Nachrichtentechniker war jedoch seine gleichzeitige Funktion als – einziger – Prof. der »Electrical Communications« am MIT wichtiger.
Deutschland: Reichspostministerium (2), Telegraphentechnisches Reichsamt (3), Telefunken (3), Siemens und Halske (2), TH Berlin (1), Univ. Köln (1), Physikalisch-Technische Reichsanstalt (1), Heinrich-Hertz-Institut (1) – bei letzterem gilt ähnliches, wie im Fall Kenelly: K. W. Wagner war in seiner Funktion als Prof. an der TH Berlin und Präsident des Telegraphentechnischen Reichsamtes zum Physikerkongreß geladen (Voltiana-Festschrift (Como), 5; 10.9.1927:15) – einer der wenigen hochreputierten Nachrichtentechniker, dem diese Ehre zuteil wurde - war jedoch zu dieser Zeit bereits designierter Präsident des HHI und aus dem TRA ausgeschieden (TFT 9; 1927:272).
Großbritannien: General Post Office (3), ITT (1)
Italien: Fernmeldeverwaltg. (1), Hochschule (2), Industrieverband (1)
Frankreich: Fernmeldeverwaltg. (1), Hochschule (1), anderes Forschungsinstitut (1)
Tschechoslowakei: Hochschule (1)
Schweden: Hochschule (1)
Teilnehmer aus Deutschland waren u. a.: Küpfmüller, Breisig, Salinger.

[72] So beispielsweise bei Thompson, »The coordination of Research and Production« (1949:21) oder (Cooper; 1941:206) oder Holland (1924:4).

[73] So z. B. Holland (1948:509) über die Kaiser-Wilhelm-Institute: »There is no counterpart of this organization in the United States. Good use might be made here of a modified version of this organization tailored to the need of the US.« Generell führt dieser Autor »Germany's acknowledged leadership in the applications of science to industry up to the time of the Nazi regime« auf »the high degree of cooperation between government, universities and industry« zurück (a.a.O. :507/8). Ein System, das bei weitem nicht so weit entwickelt sei in den USA.

Industrie betriebene Forschung spielte. Die am Anfang konstatierte enge Beziehung zwischen Stand der Technik und Anteil an der Fachgemeinschaft findet hier ihre Erklärung.

Um nun nicht weiter allein die Situation zum Ende der zwanziger Jahre zu betrachten, sind in Tabelle 4 die Angestelltenzahlen der Bell Telephone Laboratories und des Zentrallaboratoriums der Siemens und Halske AG sowie von General Electric und Westinghouse einander gegenübergestellt. Eine grundlegende Änderung im Größenverhältnis tritt dabei nicht auf.

Direkten Zugang zur Rolle, die verschiedene Forschungsinstitutionen beim Zustandekommen der ersten Nachrichtentheorien spielten, erhält man, wenn man die institutionelle Herkunft der Autoren untersucht, auf die sich die späteren Arbeiten zu einer Nachrichtentheorie beziehen.

Die wichtigsten drei Originalarbeiten, die nach 1945 mehr oder weniger unabhängig voneinander den Ansatz zu einer Kommunikationstheorie enthielten, Gabor (1946) – Shannon (1948) – Tuller (1949) zitieren aus der Nachrichtentechnik[74] zwischen 1920 und 1939 die folgenden Autoren, d. h. ihre Institutionen (Tabelle 5).

TABELLE 4: Das Personal der wichtigsten F+E-Einrichtungen in der Nachrichtentechnik, 1920-1940

Jahr	Bell Tel.Lab.	AT&T-D&R	Siemens-ZL[c]	General Electric	Westingh.	Telegr. techn. RA
1920		307 (1)	160	301 : 159		
1925	3.496 : (1.400)	400	310	330 : 174	118	1.139 : 125 (3)
1930	5.864 : (2.350) [a]	537 (2)	610 : 340	432 : 202	191	1.129 : 94 (4)
1935	4.271 : 1.902 [b]	–	590 : 270	280 : 140	118	
1940	4.638 : 2.009	–	(1.200) : 540	322 : 168	146	

Quellen: BTL: »Bell System R&D«; May 1967:3.1,3.3, AAA, Box 2061 AT&T-D&R: für 1922 (1) und 1928 (2) Organisationspläne, für 1925 »Notes on Organization of BTL«, AAA, Box 53 Siemens ZL: SAA Li 869, Jahresbericht 1960/61 und SAA Li 186, Jahresbericht 1937 General Electric: MacLaurin; 1949/167 (General Electric Laboratories, Schenectady) Westinghouse Laboratories, Pittsburgh: MacLaurin; 1949:176 Telegraphentechnisches Reichsamt: für 1923 (3), höchster Stand bis 1925, TFT 9; 1925: 245 ff. für 1929 (4), Reichspostzentralamt insgesamt, »RPZ«; 1929:13
Die Zahlen vor dem Doppelpunkt geben die Gesamtzahl der Angestellten, nach dem Doppelpunkt die Zahl der Wissenschaftler und Ingenieure. Die in Klammern gestellten Zahlen sind nach dem Anteil der Wissenschaftler und Ingenieure für andere Jahre geschätzt. Alleinstehende Angaben sind stets die Gesamtzahl der dort Angestellten.
[a] Zum Vergleich: die Gesamtzahl der im »Transmission Research« Department der BTL Angestellten: 148
[b] Zum Vergleich: Die Gesamtzahl der Angestellten im »Research Department« der BTL: 830
[c] Zum Vergleich: das Siemens-FL: 1925 : 90; 1930 : 92; 1935 : 24; 1940 29 Wissenschaftler u. Ing.

TABELLE 5: Zeitliche und institutionelle Verteilung der nachrichtentechnischen Quellen der Arbeiten: Gabor (1946);Shannon (1948); Tuller (1949) sowie der Arbeiten zur Geschichte der Informationstheorie: Cherry (1951)und Pierce (1973)

Autor	1920-24	1925-29	1930-34	1935-39
Gabor:	2 AT&T 1 Siemens	2 AT&T	2 AT&T 1 Siemens 1 Hochsch.	2 AT&T 2 Telefunken 1 Hazeltine 1 CBS
Shannon:	1 AT&T	2 AT&T	–	–
Tuller:	1 AT&T 1 Siemens	2 AT&T	-	-
Cherry:	3 AT&T 1 Siemens	3 AT&T	1 Phillips	2 AT&T 1 Hochschule
Pierce:	2 AT&T 1 Siemens	1 AT&T	–	1 AT&T 2 Hochschule

[74] Eingeschlossen sind hier in »Nachrichtentechnik« alle zitierten Arbeiten zu Akustik, Signalübertragung, Modulation, Telegrafie, Telefonie, Funk, Fernsehen. Ausgeschlossen bleiben lediglich die rein mathematischen und rein physikalischen Quellen, wie Arbeiten zur Funktionsanalysis oder Quantenmechanik.

Diese Übersicht zeigt eine Reihe von Besonderheiten, die im weiteren noch Gegenstand der Überlegung sein werden:

– die besondere Bedeutung von Autoren der AT&T für die Entstehung der genannten Arbeiten generell, sei es wie es sich in diesen selbst oder in den historischen Arbeiten widerspiegelt.

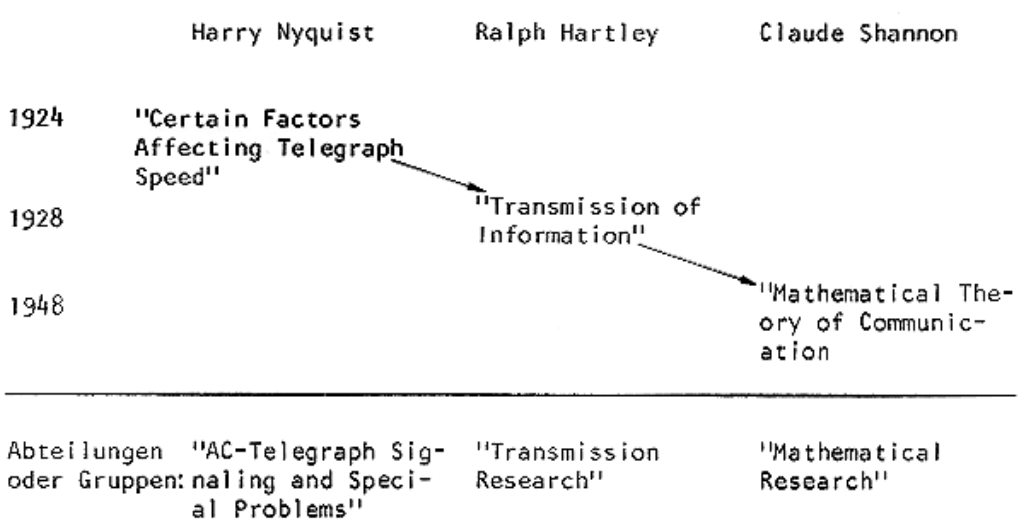
– die unterschiedliche institutionelle und zeitliche Verteilung der Quellen der Arbeiten Shannons und Tullers einerseits und Gabors andererseits

– der unterschiedliche Anteil an AT&T Arbeiten in den zwanziger und den dreißiger Jahren.

Die einzigen Arbeiten, die von all diesen Autoren erwähnt werden, Hartley (1928) (»Transmission of Information«) und Nyquist (1924) (»Certain Factors Affecting Telegraph Speed«) werden weiter unten ausführlich diskutiert. Sie sind die entscheidenden Vorstufen zu einer Theorie der Nachricht in der Nachrichtentechnik. Beide Autoren arbeiteten in der Forschung der AT&T.

In Diagramm 3 sind diese drei entscheidenden Stufen zur Bildung der Informationstheorie Shannons und die institutionellen Positionen der drei Autoren (innerhalb der Bell-Forschung) in einer Übersicht zusammengestellt.

DIAGRAMM 3: Stadien der Kommunikationstheorie in F+E des Bell Systems



1.2 DIE POSITION DER AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY IM FERNMELDEWESEN

> »Telephone Engineering is sometimes thought of as a branch of Electrical Engineering. Properly considered, such is not the case. Telephone Engineering, broadly considered, is more extensive than Electrical Engineering and is not a branch of it.«

(AT&T Vizepräsident B. Gherardi; 1925: 263 f.)

Die AT&T umschloß fast den gesamten Fernsprechmarkt in den USA, wohingegen in Deutschland der Betrieb der Anlagen von der Produktion der Teile getrennt war.

Im Telefon- und Telegrafenwesen, den für die Entstehung der ersten Formen von Nachrichten- oder Kommunikationstheorien in der Nachrichtentechnik entscheidenden Techniken, gab es drei verschiedene Typen aktiver Unternehmen, bei zwei verschiedenen Arten von Aktivitäten. Diese waren der Betrieb der Telegrafenverbindungen oder Fernsprechnetze und die Produktion der zum Aufbau und zur Erhaltung dieser Einrichtungen notwendigen Teile.

Organisationen, die diese Funktionen ausübten, waren:

a) Betriebsunternehmen wie die staatlichen Postverwaltungen, die neben dem elektrischen Nachrichtenverkehr noch mechanischen Nachrichtentransport, Kleingüter-, Güter- und Personentransport sowie verschiedene andere Dienstleistungen anboten.

Ein Beispiel für diesen Typ von Unternehmen stellte die Deutsche Reichspost dar. Der Betrieb des elektrischen Nachrichtenverkehrs wurde in fast allen europäischen Staaten im Rahmen derartiger staatlicher Institutionen abgewickelt.[75]

b) Produktionsunternehmen der Privatindustrie, die neben der Nachrichten- oder »Schwachstrom«technik noch in einer Reihe anderer Bereiche – zumeist der Elektrotechnik – aktiv waren, vom Motor-, Generatoren- und Kraftwerksbau über Kabeltechnik bis zu Haushalts- und medizinischer Elektrik.

Ein Beispiel dieses Unternehmenstyps stellt die Siemens AG dar, mit den beiden Unternehmensstellen Siemens-Schuckert und Siemens & Halske, die in Deutschland in den zwanziger Jahren den Materialbedarf der Reichspost zu fast zwei Dritteln deckte.[76] Verschiedene solcher Unternehmen waren über die Vereinbarung von Lieferquoten an die Betriebsorganisationen gebunden, boten darüber hinaus aber ihre Erzeugnisse aller Bereiche national und international am Markt an. In den meisten europäischen Staaten wurden die Betriebsorganisationen von solchen Unternehmen mit Material beliefert.

c) integrierte Gesellschaften, die sowohl Betrieb als auch Produktion der notwendigen Geräte und Materialien besorgten und über den Bereich des Fernmeldewesens hinaus nicht wesentlich aktiv waren. Herausragendes Beispiel dieses Typs von Organisation des Fernmeldewesens ist das Bell System der USA, mit dem Produktionsunternehmen Western Electric Company, den regionalen Telefongesellschaften, der Dachgesellschaft American Telephone and Telegraph Company und der Bell Telephone Laboratories, als Organisation für Forschung und Entwicklung.

In verschiedenen kleineren Ländern – vor allem in Lateinamerika – nahm die International Telephone and Telegraph Company ähnliche Aufgaben wahr.[77]

Das Hauptinteresse dieser Untersuchung gilt den Bell Telephone Laboratories (BTL) der American Telephone and Telegraph Co. (AT&T).

Die offensichtlichsten Eigenschaften der AT&T sind ihre Größe und ihre zentralisierte Struktur.[78] Die beste Schilderung der Größe dieses Unternehmens findet sich bei Coon[79], weshalb daraus zitiert sei:

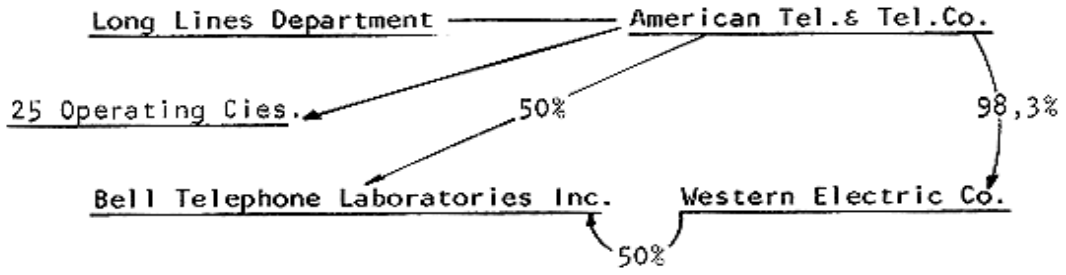
---

[75] »Die Organisation des Fernsprechwesens in den Ländern der Erde« in EFD 14; 1929:251 ff.
[76] Siehe Anhang 1.
[77] Siehe Anm. 75, sowie Horatz (1956:338).
[78] Coon (1939:261) nennt die AT&T ein »0utstanding example of centralized management«.
[79] Die hier mehrfach zitierte Arbeit von Coon (1939) diskutiert die Struktur der AT&T sehr ausführlich. Sie stützt sich vor allem auf die Ergebnisse von Untersuchungen der Federal Communications Commission (FCC).
Einige anschauliche Vergleiche zur Größe der AT&T stellt Feyerabend (1927) an: so war beispielsweise die Personal stärke der

»The five-billion-dollar Bell System, controlled by the American Telephone and Telegraph Company is the largest aggregation of capital ever controlled by a single company in the history of private business enterprise. Consisting of two hundred separate corporations, this system controls over 83% of the telephone stations in service, 91% of the telephone plant, and 90% of the total telephone revenues in the United States. lt controls 98% of the long distance telephone wires in this country and practically all the wire facilities used in radio transmission.[80] It has a complete monopoly on transoceanic radio telephony. Most of the press and all of the telephotograph service is dependent upon this system. ... Using almost a third of the active banks in the United States, it is one of the largest depositors of liquid capital.« (Coon; 1939: 2 f)

Die grobe Struktur der AT&T, soweit sie hier von Interesse ist, ist in Abbildung 1 dargestellt.[81] Als Dachgesellschaft hatte die AT&T 1925 die Mehrheitsbeteiligung an 23 »Associated Companies«, die für regionale Belange autonom in Staaten oder Staatengruppen der USA die lokalen Telefonnetze betrieben; formal ein Department der AT&T, de facto aber ein separates Großunternehmen war das »Long Lines Department«[82] , das diejenigen Strecken besaß, baute, betrieb und erhielt, die die regionalen Telefonnetze miteinander zu einem nationalen Netz verbanden.[83] Produzent, Lagerhalter, Einkäufer nicht selbst produzierter und Verteiler aller für Bau, Erhaltung und Betrieb notwendigen Teile war die Western Electric Company[84]; Forschungs-Entwicklungs- und Konstruktionsorganisation waren seit 1925 die Bell Telephone Laboratories mit Sitz in New York.[85]

ABBILDUNG 1: Aufbau der American Telephone and Telegraph Company, 1925 (Q.: Fagen; 1976:57)



Aus der Sicht eines deutschen Staatssekretärs im Reichspostministerium nahm sich diese Organisation des US-Fernsprechwesens Ende der zwanziger Jahre so aus (Feyerabend; 1927:144 f.):

»Diese Organisation des amerikanischen Fernsprechdienstes ähnelt in den Grundzügen der unserigen. Es entsprechen die AT&T dem Reichspostministerium, die Associated Companies den

---

AT&T 1927 mit 310.000 Angestellten genauso groß wie die der gesamten Deutschen Reichspost, alle Dienste eingeschlossen (p 150).

[80] Die Kabel- und Leitungsstrecken, mit deren Hilfe die Sendestationen der Rundfunkgesellschaften zu Netzen verbunden wurden. Diese fielen in den Zuständigkeitsbereich der AT&T. Siehe näheres zu dem technischen Hintergrund in Abschnitt II.2.

[81] Ausführliche Schilderungen der AT&T-Struktur finden sich in Fagen (1976), Bode (1971), Coon (1939), Horatz (1956) und Feyerabend (1927). Eine hier hinreichende kurze Darstellung gibt AT&T Vizepräsident B. Gherardy (1925:262), auf die sich der folgende Absatz stützt

[82]. J.J. Pilliod (1923:18).

[83] Zu Beginn war die AT&T aus einer Gesellschaft gerade für diese Aufgabe hervorgegangen (Langdon; 1925:150).

[84] Erwartungsgemäß war die Western Electric die »größte Produzentin von Telephonapparaten und -utensilien in der Welt«, Leonidoff (1928:121) Vgl. die unter Anm. 15) angegebenen Arbeiten.

[85] Nach Beginn der Planung eines Neubaus im Jahr 1930 zogen die BTL 1941 nach Murray Hill, New Jersey um (Kelly; 1950:297).

> Oberpostdirektionen, die Bell Laboratories dem Telegraphentechnischen Reichsamt[86] nur eine eigene Fabrik haben wir nicht und können wir unter den in Deutschland gegebenen Verhältnissen auch nicht haben. In der eigenen Fabrik liegt aber für die amerikanische Gesellschaft ein ökonomischer Vorteil von ungeheurer Auswirkung.
>
> Er besteht in der allgemeinen Einstellung der Fabrik auf die Bedürfnisse der Gesellschaft, in der Möglichkeit höchster Rationalisierung der Fabrikation, in der Vermeidung vieler Unkosten, im Fehlen aller Absatzsorgen. Darin liegt auch einer der Gründe, weswegen das Bell System den Fernsprechbetrieb mit relativ geringeren Selbstkosten durchführen kann als wir und weshalb der Betrieb technisch einheitlicher und dadurch in mancher Beziehung auch leistungsfähiger ist als bei uns.«

Hier werden die wesentlichen Unterschiede zwischen europäischer und amerikanischer Organisation des Fernsprechwesens genannt, wie auch die Vorteile der besonderen Struktur dieses Bereiches in den USA, nämlich ökonomische und technische Integration.

Im Gegensatz zu den hiesigen Verhältnissen steckte die in Abbildung 1 dargestellte Struktur der AT&T, wie sie sich nach einer Anzahl organisatorischer und geschäftlicher Umwandlungen in den zwanziger Jahren herausgebildet hatte[87], einen vollständig in sich geschlossenen Bereich ab. Abnehmer und Produzent waren in diesem Teil eines zentral koordinierten Systems[88] und von externen Märkten so wenig beeinflußt, wie sie in diesen aktiv waren.[89]

Neben der AT&T existierten in den USA noch eine Vielzahl unabhängiger Telephongesellschaften und -genossenschaften, deren Anteil 1918 mit 48% aller Telefone in den USA seinen höchsten Stand erreicht hatte und 1940 auf 12% abgesunken war.[90]

1935 waren es 6.600 unabhängige Gesellschaften und 25.200 ländliche Genossenschaften, die 20% der 17,4 Millionen Telefonanschlüsse der USA[91] betrieben. Sie waren meist reine Betriebsgesellschaften und aus zwei Gründen für die weiteren Betrachtungen zur nachrichtentechnischen Forschung irrelevant: wegen ihrer Zersplitterung waren sie – zumindest zwischen den Weltkriegen – auf Forschung und Entwicklung, wenn nicht gar Produktion amerikanischer oder internationaler Unternehmen angewiesen, und sie waren von nie mehr als lokaler Bedeutung. Die von ihren Apparaten ausgehenden Gespräche wurden über die »long lines« des Bell Systems abgewickelt, das auch die großen Städte versorgte.

Es ist daher durchaus sinnvoll, die Gesamtzahl der US-Telefonanschlüsse als Index der technischen Entwicklung und der technischen Probleme für das *Bell System* zu betrachten.

---

[86] Dieser Vergleich ist nur aus der Sicht der Reichspost verständlich. Tatsächlich entsprachen die BTL, hervorgegangen aus dem Produktionsunternehmen der AT&T, der Western Electric eher dem Zentrallaboratorium der Siemens & Halske AG, das TRA dem D&R Department der AT&T, das bis 1934 noch neben den BTL weiterbestand.

[87] Bereits 1910 hatte Western Electric den Bereich allgemeiner Elektrotechnik an General Electric abgetreten und an Westinghouse (MacLaurin; 1949:116); 1925 wurden die Internationalen Interessen der Western Electric an die International Telephone and Telegraph Co. verkauft (ebda., sowie Coon; 1939:122f.). 1925 wurden die BTL als eigene Gesellschaft gegründet, ebenso Graybar Electric, eine Western-Tochter, die 1928 in den Besitz der Firmenangehörigen überging.
Es bestand noch eine Zeit die »Electrical Research Products, Inc.«, die F+E-Produkte für andere Bereiche vermarktete, besonders den Tonfilm, »but the activities of this division were also ultimately to be curtailed drastically« (Mac Laurin; 1949:116).

[88] Über die gegenseitige Abdeckung des Marktes zwischen Associated Companies und Western Electric siehe Sheahan (1956:249). 900/ des Marktes für Telephon gerät in den USA bildeten diese Gesellschaften, die ausschließlich von der Western Electric beliefert wurden. Der Nicht-Bell-Markt war 1937 7% des Gesamtumsatzes an derartigem Gerät. (ebd. :253 f.).

[89] Dies hebt Coon in seiner ansonsten sehr kritischen Untersuchung als eine der bei der Größe der AT&T bemerkenswerten Eigenschaften hervor (loc.cit.: 256). Ein Erfolg dieser Unabhängigkeit von externen Märkten und der vollständigen Abdeckung des Fernsprechbereiches war, daß von 1921-1939 die IT&T jährlich eine fixe Dividende von 9 Dollar zahlen konnte, nicht unterbrochen von der Weltwirtschaftskrise (Coon; 1939:9), obwohl Betrieb und Produktion in dieser Zeit auch stark an Umfang verloren.

[90] Sheahan (1956:252).

[91] AT&T Bericht, 1935 in EFD 43; 1936:94.

Neben den Fernsprechgesellschaften gab es in den USA verschiedene Telegrafengesellschaften, deren wichtigste, die Western Union (WUN) bis 1913 noch Teil der AT&T war[92] und danach noch enge technische Kooperation mit der AT&T aufrechterhielt, was 1928 durch einen Vertrag aktenkundig wurde.[93] Auch die WUN war eine reine Betriebsgesellschaft, die allerdings eine eigene Entwicklungsabteilung unterhielt.[94]

Die weiter unten getroffene Unterscheidung zwischen den Techniken des Nachrichtentransportes (Telegrafie), der Herstellung von Sprechverbindungen im Rahmen eines nationalen Netzes (Telefonie) und der Verbreitung von Programmen (Rundfunk) fand nirgendwo deutlicher seinen institutionellen Ausdruck als in den USA.

Dort waren es verschiedene Unternehmen, die nach langwierigen Patentstreitigkeiten und Regierungseingriffen entsprechend spezialisiert waren: Telegrafengesellschaften (Western Union, Postal Telegraph u.a.), Telefongesellschaften (AT&T und die »Independents«), Produktionsunternehmen für Senderbau, Amateurfunk, Rundfunkempfänger (Radio Corporation of America)[95], General Electric, Westinghouse u. a.) und Rundfunkgesellschaften (National Broadcasting Corporation, Columbia Broadcasting System u.a.).

Probleme der Abgrenzung dieser Aktivitätsbereiche tauchten dort auf, wo bestimmte Techniken, wie zum Beispiel die Funktechnik oder die Phonotechniken Gegenstand des Hauptaktivitätsfeldes verschiedener Unternehmen waren, wie der AT&T, der RCA oder General Electric.[96]

---

[92] Horatz (1956:338).
[93] AT&T Jahresbericht (1928:1O).Dieser galt ebenso für die Postal Telegraph Co.
[94] Horatz (1956:353).
[95] Die RCA hatte allerdings auch erhebliche Aktivitäten im Betriebsbereich inne, durch die NBC im Rundfunk und die RCA Communication und Radio Marine Corporation of America im Übersee- und Seefunkverkehr (Horatz; 1956:358 ff.).
[96] Patentrecht und Antritrustgesetze waren gewissermaßen die Faktoren, die zur Bildung derartig abgegrenzter Gesellschaften führten. Das 1926 erreichte Abkommen zwischen den drei großen der amerikanischen Nachrichtentechnik sah schließlich vor:

»to give AT&T exclusive patent rights in the fields of public service telephony and to give GE, Westinghouse and RCA exclusive patent rights in the areas covered by wireless telegraphy, entertainment broadcasting and the manufacture of receiving tubes and sets for public sale. AT&T was also given the exclusive rights to furnish wire telephone service for radio.« (MacLaurin; 1949:115).
Die beiden großen Phonounternehmen, Columbia Phonograph Corporation, die 1927 die CBS-Rundfunkgesellschaft gründete und die Victor Talking Machine Col, die 1929 von RCA übernommen wurde, »did almost no research and fell seriously behind on technical developments« (Mac Laurin; 1949: 116)

ABBILDUNG 2: Struktur des Fernmeldemarktes in Deutschland und den USA

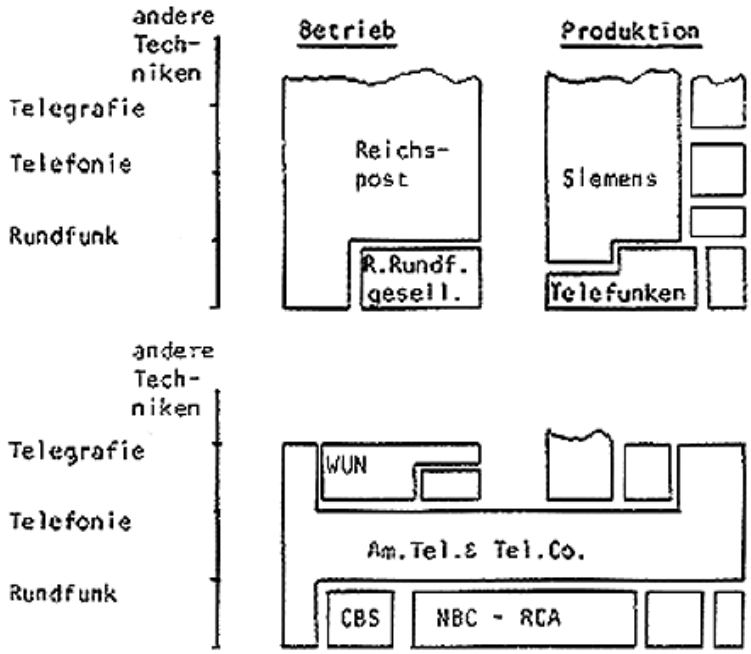


Abbildung 2 zeigt ein Schema der Fernmeldemarkt-Struktur für Deutschland und die USA. Dabei wird deutlich, daß, vereinfacht, der deutsche Markt nach Funktionen (Betrieb, Produktion), der amerikanische dagegen nach Techniken (Telegrafie, Telefonie, Rundfunk) geordnet war.

Forschung und Entwicklung war besonders auch in diesen technischen »Grauzonen« geboten, da es für Unternehmen, »built on patents« (Coon; 1939:7) wie die AT&T notwendig war, jede möglicherweise für das Unternehmen entscheidende technische Entwicklung mitzubestimmen.[97]

Nach 1930 begann besonders mit der schnell wachsenden Rundfunkindustrie ein weiterer Sektor in Technik und Forschung der Nachrichtenübermittlung und -verbreitung vorzudringen.

Waren 1927 in den F+E-Laboratorien der Funk- und Elektroindustrie der USA etwa 100 Personen beschäftigt, so waren es 1938 bereits etwa 1.100. In »Electrical Communication« (vor allem das Bell System betreffend) waren in den USA 1927 etwa 4.000 in F+E tätig – und etwa genausoviel waren es auch 1938.[98]

[97] So z.B. der BTL-Präsident F.B. Jewett (1937:117).
[98] Cooper (1941:1807).

1.3 DIE POSITION VON F+E IN DER AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY

Die Integration einer Technik (Telefonie) in allen ihren Marktfunktionen innerhalb der AT&T und deren Beschränkung auf Telefonie und Telegrafie war für die Konzentration von F+E in der AT&T und die einheitliche Sicht des Gebietes »Electrical Communication« in den USA entscheidend.

Die AT&T war ein in exemplarischer Weise vertikal integriertes Unternehmen, räumlich weit verteilt über die gesamten USA, mit regional stets in ähnlicher Weise wiederkehrenden Teilgesellschaften, den Associated Companies, die in ihren lokalen technischen Funktionen stets vollständig sein mußten. Bei einem derart aufgebauten Unternehmen lag es nahe, in der Dachorganisation die entsprechenden Funktionen ausgegliedert noch einmal einzurichten, so u. a. ein Engineering Department.[99]

Im Jahr 1919 erwies es sich in diesem Engineering Department der AT&T als notwendig,

> »to differentiate in our work between the engineering of the present and the engineering of the future by making two departments out of our engineering department, one called the Department of Operation and Engineering, and the other, the Department of Development and Research« (Thayer; 1925:5f.)

so der damalige AT&T Präsident Thayer.

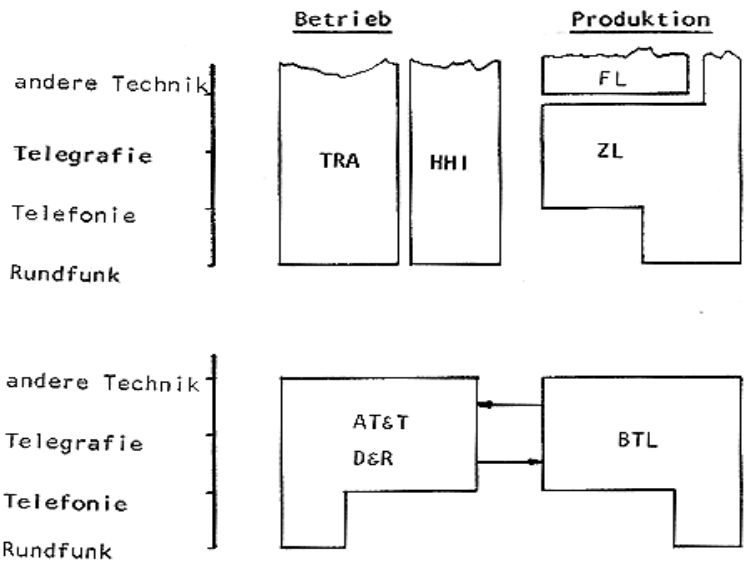
Dieses AT&T Department of Development and Research (D&R) entsprach als F+E Organisation der Betriebsseite des Fernmeldewesens in etwa dem 1920 gegründeten Telegraphentechnischen Reichsamt der Reichspost. Es bestand als separate Organisation bis 1934, als es mit den Bell Telephone Laboratories zusammengelegt wurde. Bereits seit 1925 waren BTL und D&R Tätigkeit koordiniert, da der BTL-Präsident gleichzeitig AT&T Vizepräsident für F+E war und somit Leiter des D&R Departments.[100]

Auf der Produktionsseite des Bell Systems waren bereits 1907 alle F+E-Aktivitäten der Western Electric Company in deren Engineering Department konzentriert worden[101], das 1925 in Personal und interner Struktur fast unverändert[102] als separate F+E-Organisation »Bell Telephone Laboratories Inc.« etabliert wurde, zu je 50% in AT&T und Western Electric Besitz. Grundlagenforschung, Forschung und grundlegende Entwicklung wurden von der AT&T, Entwicklung und Konstruktion von der Western Electric Co. bezahlt.[103]

---

[99] Das AT&T Engineering Department ging in gerader Linie auf das von A.G. Bell und T.A. Watson in Boston in der Frühzeit der Telefonie betriebene Labor zurück (MacLaurin; 1949:156) oder Langdon (1923:145).
[100] AT&T Jahresbericht (1925:18 f.).
[101] Vgl. Thayer (1925:2).
[102] Fagen (1976:52 ff.).
[103] Coon (1939:200) ebenso in fast allen Quellen, die sich etwas eingehender mit der F+E in der AT&T befassen.

ABBILDUNG 3: Struktur der Forschung im deutschen und amerikanischen Fernmeldewesen



Die Verteilung der F+E-Einrichtungen in der Nachrichtentechnik auf die verschiedenen Aktivitätsfelder, die bereits in Abb. 2 für die Darstellung der Marktstruktur verwendet wurden, zeigt Abbildung 3: Für Deutschland Post und Siemens[104], für die USA die Forschungseinrichtungen des Bell Systems, AT&T Department of Development and Research (D&R) und Bell Telephone Laboratories.[105]

Die einfache funktionale interne Organisation der BTL zeigt die Abbildung 4.

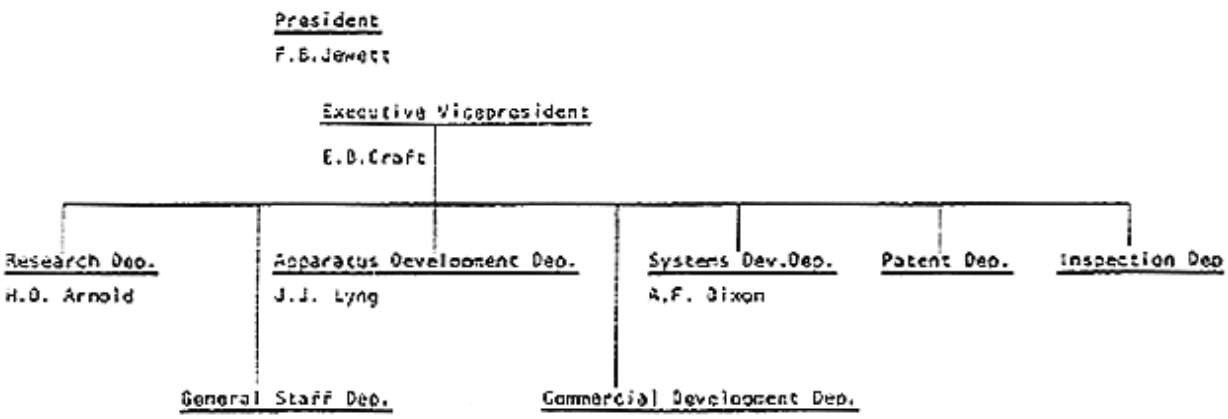
Ein Vergleich der 1925 in der Western Electric Company tätigen 39.460 mit der Zahl der der im gleichen Jahr bei Siemens in Deutschland für das Fernsprechgeschäft Tätigen 10.050 gibt einen Eindruck von den Größenunterschieden der beiden Unternehmen im Bereich des Fernsprechwesen.[106]

Bei dieser Größe der Western Electric war es nun nicht erstaunlich, daß auch die BTL von einmaliger Größe waren[107], zumal sie das gesamte Spektrum der Aktivitäten zu bearbeiten hatten, die vor der Serienproduktion lagen.[108] Für einen zeitgenössischen Beobachter aus der – in Unternehmensaktivität und F+E anders organisierten Siemens AG[109] – mußte sich die Integration all dieser Funktionen in einer selbständigen Organisation merkwürdig ausnehmen.[110] In dieser Struktur repräsentierten die BTL das Ideal einer F+E Organisation, wie es auch andernorts vielfach angestrebt wurde[111], jedoch in dieser Form nicht realisierbar war.[112]

---

[104] Anhang I für Details.
[105] Über die Aufgabenverteilung zwischen Bell Labs. und AT&T, D&R Department: O.B. Blackwell (15.10.1928:1).
[106] »Vergebung der Reichspostaufträge« (1933), SAA 4/Lf 698, Anlage.
[107] Noch während und nach dem Zweiten Weltkrieg waren die BTL »by far the largest industrial research organization in the United States« (Maclaurin; 1949:155), und daher »the largest industrial laboratory in the world« (AT&T Jahresbericht in BLR; 1944, 3:332).
[108] Fisk (1965:198) und Thayer (1925:2), der »scientific study« als eine Aufgabe der BTL zu einer Zeit angegeben hatte, als dies in der nachrichten-technischen Forschung in der Industrie noch sehr ungewöhnlich war.
[109] Anhang A.
[110] Gerdien (1929:10), Leiter des Siemens-Forschungs-Labor.
[111] In seinen Nachkriegserinnerungen sagte der ehemalige Ordinarius für Experimentalphysik an der TH Danzig und Leiter des AEG-Forschungsinstitutes, Carl Ramsauer (1949:25):
»Hätte ich noch einmal die Möglichkeit zu einer großzügigen Organisation, so würde ich ein Forschungs- und Entwicklungsinstitut begründen, welches eigene, aber freie Forschung betreibt und welches den *ganzen* Weg vom eigenen physikalischen Er-

ABBILDUNG 4: Aufbau der Bell Telephone Laboratories, 1928*
(Q.: BAA, BTL-General Organization, Organization chart)



* An dieser Organisation hatte sich auch 1940 nichts Prinzipielles geändert:
Executive Vp - O.E. Buckley, A.L. Jones - Dir. of Apparatus Dev., N.J. Kelly - Dir.of Research
A.B. Clark - Dir.of Systems Dev. (Q.: BLR; März 1940:209)

Von den zwei verschiedenen Idealtypen der Organisation von F+E im Unternehmen, die gemeinhin im Management von F+E unterschieden werden[113] und die hier der Kürze halber als zentrale und dezentrale F+E-Organisation bezeichnet werden sollen, lag die dezentrale in F+E der Siemens AG in Deutschland vor, während die Bell Telephone Laboratories geradezu den exemplarischen Fall der zentralen Organisation darstellten.[114]

Dieser Unterschied kam nicht von ungefähr, sondern folgte der verschiedenartigen Strategie der Unternehmen AT&T und Siemens, die man summarisch als »Electrical Communication« (was zusätzlich zur Nachrichtentechnik den Betrieb einschließt) und »Elektrotechnik« angeben kann. Diese Grundstrategien der Unternehmen sind für die Forschung – besonders in den Grundlagen von entscheidender Bedeutung.[115] Ein einheitliches Programm macht es leichter, eine zentrale F+E-Einheit zu etablieren, weil es klarere Entscheidungen über die Auswahl der in Angriff zu nehmenden Forschungsprojekte aus der Zahl aller möglichen erlaubte.[116]

---

gebnis bis zur eigenen Nullserie unter *einheitlicher* Leitung zu gehen hätte.« (Hervorh. vom Autor) In einem Siemens-Memorandum vom 5.1.1931, SAA Li 186 über die Bildung einer zentralen Entwicklungsorganisation heißt es (p1):
»die Erfahrung der letzten Jahre mit dem ZL (Zentrallaboratorium der S&H für Nachrichtentechnik – FH.) hat hinreichend genug erwiesen, daß eine zentrale Entwicklung zweckmäßig ist (siehe auch Organisation der Bell Laboratorien und die neuen Versuche der AEG)«. Weder bei Siemens noch – wie aus Ramsauers spätem Wunsch hervorgeht – bei der AEG war eine den BTL und deren als Vorbild bei derartigen Forderungen stets mitschwingenden »vielgerühmten Organisation«, (Gerdien; 1929:10) nahekommende F+E-Integration erreicht worden.

[112] Anhang I.

[113] Vgl. z.B. Thedieck (1956:23 ff.), Am. Inst.Managem. (1958:8 f.), Steimel (1963:12 f.) oder Zieber (1948:75).

[114] So z. B. Zieber (1948:80) oder McLeod (1978:740), der die BTL als ein »outstanding example« einer autonomen F+E-Organisation anführt.

[115] Vgl. dazu BTL-Präsident Fisk (1963:3). Wegen der Notwendigkeit für eine FOrganisation eine einheitliche Leitlinie zu haben, war es in diversifizierten *Unternehmen* kaum möglich, alle F-Aufgaben institutionell *zusammenzufassen*

[116] Darauf weist z.B. BTL-Vizepräsident R. Bown (1953:2) hin.

In rein produktionsorientierten diversifizierten Unternehmen ließ sich ein einheitliches Konzept des Vergleichs der Forschungsprojekte für unterschiedliche Produktgruppen viel schwieriger finden. In derartigen Unternehmen lag es näher, um Forschung betreiben zu können, diese von der Entwicklung, die den Werken unterstand, zu trennen. Genau dies war der Fall bei Siemens.

»Elektrotechnik« stellte nämlich – vielleicht überraschenderweise – im Gegensatz zu »Electrical Communication« *kein* einheitliches Unternehmenskonzept im obigen Sinne dar. Dieses geht deutlich aus der folgenden Äußerung eines der wichtigsten F+E-Leiter in der deutschen Nachrichtentechnik, Fritz Lüschen, hervor, die er in einem Siemens-internen Memorandum zur »Frage der Organisation der Laboratorien« machte.

Nach dem Vorschlag, alle nachrichtentechnischen Forschungsaktivitäten im Zentrallaboratorium der Siemens & Halske AG zusammenzufassen, fuhr er fort:

> »Während die Zusammenfassung der vorgeschilderten Art auf der Überlegung beruht, daß hier ein einheitliches *Ziel*, nämlich die Durchbildung eines einheitlichen, wohl durchdachten Gebrauchssystems, erstrebt werden soll gibt es Fälle, wo die *Grundlagen der Forschung* die gleichen sind, die Anwendungen aber wenig oder gar nichts miteinander zu tun haben ... Hier fordert also die gemeinsame Grundlage eine Zusammenfassung.« (Lüschen; 23.2.1931:9)

Die Trennung der Forschung bei Siemens in Zentrlalaboratorium (ZL) und Forschungslaboratorium (FL) entsprach daher der inneren Logik des Unternehmens.

Diese wird für Siemens-und Postforschung im Anhang weiter diskutiert. An dieser Stelle ist dies deshalb von Interesse, weil es deutlich macht, wie wenig die Zusammenfassung aller F+E-Aktivitäten in den BTL eine Selbstverständlichkeit war. Neben der Trennung von Forschung (Betrieb) und Forschung (Produktion) in dem europäischen Typ der Organisation des Fernmeldewesens war dort F+E auch innerhalb der produzierenden Unternehmen auf ganz andere Weise »natürlich« organisiert.

Es waren die Größenordnung der AT&T und ihre integrierte Struktur – die einen Autor 1925 emphatisch von dem »threefold ideal of One Policy, One System and Universal Service« (Langdon; 1925:150) sprechen ließ – die für ihre besondere Rolle in der nachrichtentechnischen Forschung und Entwicklung verantwortlich waren, d. h. finanzielle Stärke und »technical integration« (Bode; 1971:28). So wie die BTL den gesamten Prozess von F+E umfaßten, erstreckten sich ihre Aktivitäten auch inhaltlich über ein vergleichbar weites Feld:

> »the activities of the laboratories include all the engineering arts which pertain to electrical communication and to the composition and construction of communication equipment, and all the sciences basic to those arts. New materials, alloys, and compounds must be invented and developed, old materials more thoroughly understood; new methods and processes must be devised.
>
> Mathematics, physics and chemistry are basic to its work; biology and botany enter into its considerations of textiles and timber products; physiology and psychology into its knowledge of the action of vocal and auditory mechanisms.« (Coon; 1939:201)

Im programmatischen Vorwort des »Bell System Technical Journal« wurden bei dessen Gründung im Jahr 1922 neben Physik, Chemie und technischen Bereichen bereits »political science, psychology and mathematics« als Forschungsbereiche der elektrischen Nachrichtentechnik (»Electrical communication«) genannt, »almost every branch of human activity which we designate as science« (BSTJ 1;1922,1:1). *Nirgendwo wurde bereits zu dieser frühen Zeit ein derartig allgemeiner Rahmen für die Forschung in der Nachrichtentechnik abgesteckt – nirgendwo erstreckte sich die Forschung in der Nachrichtentechnik sonst über ein derart breites inhaltliches Spektrum.*

Ein solch breiter Bereich konnte nur dann in der Forschung bearbeitet werden, wenn eine einheitliche Leitlinie existierte, die Entscheidungen über Inangriffnahme oder Ablehnung von Forschungsvorhaben erlaubte – bzw., umgekehrt, nur dort, wo eine derartige Leitlinie vorhanden war, war es nicht nur leichter, alle Funktionen von F+E zusammenzufassen, sondern begann die Forschung auch in weitere Grundlagenbereiche vorzudringen, auch dort nicht eingeschränkt auf das Raster klassischer Wissenschaften.

Eine solche Leitlinie war der im Unternehmen der AT&T integrierte Gesamt-gegenstand und -prozeß der Nachrichtenübermittlung. Während man in den USA »all services of electrical communication« als »part of one common science« ansah (BTL-Präsident Jewett; 1936:144), mußte man in einer Organisation des Fernmeldewesens vom »europäischen Typ« – geteilt in staatliche Betriebs- und private Produktionsunternehmen – von seiten der Reichspost das Gebiet der Fernmeldetechnik ganz anders sehen:

> »Der Begriff der Fernmeldetechnik ist ein anderer in der elektrotechnischen Industrie als bei den öffentlichen Verwaltungen. Er ist enger und weiter. Enger insofern, als sich unsere Industrie mit den praktischen Anwendungen der Fernmeldetechnik nur in beschränktem Umfange befaßt. Dafür ist ihr ein ganz anderes weites Arbeitsgebiet zugewiesen: die Fertigung aller technischen Hilfsmittel des Fernmeldebetriebes, also von Apparaten, Maschinen, Meßinstrumenten, Kabeln usw. für die Vermittlung von Gesprächen, die elektrische Beförderung von Nachrichten, Bildern und Musik.« (Lang; 1931:341)

Diese unterschiedliche Struktur des Fernmeldewesens hatte auf die Forschungsorganisationen in ihren Leitprinzipien, ihrer Größe und ihrer internen Struktur erheblichen, wenn nicht den entscheidenden Einfluß. Während in Deutschland die *Systemplanung* der Fernsprechnetze von der Entwicklung institutionell weit getrennt war, war die *Forschung* auf Industrie- und Betriebsunternehmen verteilt, *Entwicklung* innerhalb der Produktionsunternehmen auf verschiedene Werke. Die Integration all dieser Stadien von Forschung, Entwicklung und Planung spätestens nach der Zusammenlegung von BTL und D&R-Department der AT&T im Jahre 1934 in den Bell Telephone Laboratories schuf in den USA eine der wesentlichen Voraussetzungen für eine neue integrierte Sicht der drei Aktivitäten »Research«, »Development« und »Systems Engineering«[117] als drei Dimensionen der einheitlichen Planung und Entwicklung technischer Systeme allgemein.

Die Projizierung dieses Unterschiedes auf das *Ausbildungssystem* führte zu den Einteilungen in »Electrical Communication« bzw. »Power« in den Curricula der elektrotechnischen Kurse der USA und in »Schwachstromtechnik« bzw. »Starkstromtechnik« in Deutschland.[118] Ersteres der Position *verschiedener Unternehmen im Markt* folgend (bei denen auch Teile der Ausbildungsverläufe absolviert wurden), letztere den Einteilungen der Aktiv itätsbereiche *innerhalb der produzierenden Unternehmen* der Elektrotechnik folgend.

1.3.1 FORSCHUNG IN DEN BELL TELEPHONE LABORATORIES

> »We are not confronted by the many artificial considerations which are involved in a business where apparatus or systems are being designed and manufactured to sell in competition with others merely as a commercial transaction.«

(BTL-Vizepräsident E.B. Craft; 1925:257)

Die Forschung in den Bell Telephone Laboratories erstreckte sich bis in Grundlagenbereiche. Resultat der besonderen Markt- und F+E-Struktur war eine Abteilung für »Transmission Research«, die in ihrer

---

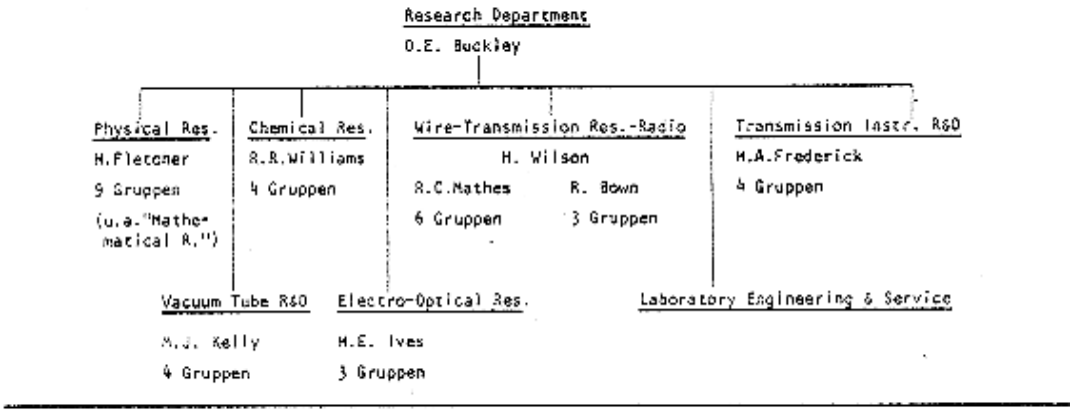
[117] Die Literatur zu „Systems Engineering« als besonderem Spezialgebiet zwischen Forschung und Entwicklung ist groß. Fisk (1963:10 ff.) beschreibt dessen Funktion in den BTL, Hendryk W. Bode (ehemals Leiter der Gruppe »Mathematical Research« und Vizepräsident der BTL) (1978:970 ff.) geht ausführlich auf Geschichte, Methoden, Leistungen ein.
[118] Vgl. Anhang I.

Zusammenfassung von Übertragungsaspekten verschiedener Techniken einmalig war. Deren Leiter war Autor des ersten Informationskonzeptes in der Nachrichtentechnik.

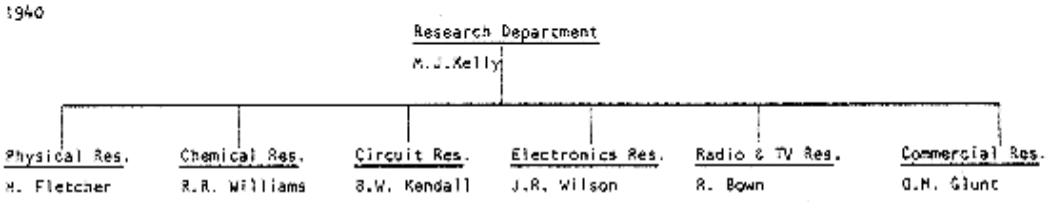
Entsprechend ihrem Aktivitätsbereich (Abb. 3) war die interne Struktur der jeweiligen Laboratorien unterschiedlich.

ABBILDUNG 5: Forschung in den Bell Telephone Laboratories 1935 und 1940

(Q.: 1945:BAA; 1935(M):4 f., "The Research Department of the BTL"
1940: BLR; März 1940:209, "Changes in Laboratories Organization")



1940



Technical Consulting Staff:* L. Espenschied C.W. Green H. Nyquist (7)
Chairman: W. Wilson

Research Consultants Department:** R.V.L. Hartley (1)

* Der Technical Consulting Staff unterstand einem dem Forschungsdirektor gleichgestellten BTL-Vp (O.B. Blackwell)
** Dieses Department war den anderen Abteilungen des Research Dept. gleichgestellt
Die Zahlen in Klammern geben die Zahl der zusätzlichen Mitarbeiter.
Q.: BAA, Org.chart; 1.3.1940

Abbildung 5 zeigt die interne Struktur der Forschung in den Bell Telephone Laboratories (BTL), die 1925 aus dem Engineering Department der Western Electric hervorgegangen waren. Diese Abteilungsstruktur ist nach Fachgebieten (Physik, Chemie), Detail-Techniken (Vakuum-Röhren, Elektro-Optik) und nach technischen Funktionen (Transmission) geordnet, eine Struktur, die sich 1940 etwas aufgelöst hatte.

Dieser Typ der Organisation gilt im Management von F+E als charakteristisch für eine Grundlagenorientierung größerer F+E-Einheiten.[119] Anders war die Einteilung des für nachrichtentechnische F+E

[119] Zieber (1948:74).

zuständigen Siemens ZL, nämlich nach Techniken, die Markteinheiten der Siemens-Situation entsprachen: Telegrafie, Telefonie und weiteren Detailtechniken.[120]

Im Bereich nachrichtentechnischer Forschung waren die BTL überhaupt das einzige Labor mit Aktivitäten in Grundlagenbereichen.[121]

Die Stabilität der Forschungsrichtung, die die Abteilungsstruktur mit sich brachte, war wie für die nach wissenschaftlichen Fachgebieten definierten, auch für die Abteilung für »Transmission Research« von Bedeutung, der in diesem Zusammenhang besondere Aufmerksamkeit gelten muß.

Folgend der besonderen Marktstruktur und der zentralen Form und Größe der BTL war diese Abteilung in der Nachrichtentechnik der Zeit eine *einmalige Zusammenfassung von Sachgebieten.*

Ihr Gegenstück war die D&R-Abteilung »Transmission Development«. Hartley war Leiter von »Transmission Research«, Nyquist Leiter einer kleinen Gruppe für Telegrafen-Probleme zwei Ebenen unterhalb der Leitung in »Transmission Development«.

All diese Forschung war – wenn auch in der Atmosphäre des Forschens von den Universitäten nicht sehr verschieden (Jewett; 1932:133) – doch an die Entwicklung der Technik gekoppelt. Dies galt für eine am technischen Prinzip orientierte Abteilung wie »Transmission Research« sicher noch eher als für die etablierten Wissenschaften entsprechenden Abteilungen wie »Chemical-« oder »Physical Research«, die stets auf weit mehr externe grundlegende Forschungsergebnisse zurückgreifen konnten.

Der Mechanismus, über den diese Kopplung lief, war in der »Transmission Research«-Abteilung nicht anders als in der Industrieforschung generell.[122]

Aus der Menge möglicher Projekte mußten die ausgewählt werden, »which are most pressing and most promising and which fit best into the general plan of attack« (Buckley; 18.2.1935:12).

Nahmen die Probleme des Betriebes ab, wie in der Weltwirtschaftskrise zusammen mit abnehmendem Betrieb und abnehmender Produktion, so wurde die Forschung allgemeiner, weiter vorausschauend[123]; waren technische Änderung und betriebliches Wachstum rapide, mußte auch die Forschung sich mehr auf die Probleme konzentrieren, die »most pressing« waren.

Die fundamentalen Probleme betrafen dabei Gebiete, die für die Zukunft erwarteter gesteigerter Verkehr oder qualitativ andere oder bessere Übertragung aufwarfen (wie TV- oder Rundfunkprogrammübertragung).

Dieser Mechanismus war auch in die Finanzierung der Forschung in BTL/AT&T, D&R Department eingebaut: grundlegende Forschung wurde von der Betriebsseite (AT&T), angewandte Forschung und Entwicklung von der Produktionsseite (Western Electric) finanziert.

Unter der Annahme der Konzentration der Western Electric auf den Fernsprechmarkt und der Abwesenheit anderer Quellen zur Finanzierung grundlegender Forschung, was in den zwanziger und dreißiger Jahren mit guter Näherung galt, erhält man eine lineare Beziehung zwischen dem Verhältnis von *Volumen des Betriebes* (Zahl der Telefongespräche) zu dem Umfang von dessen *zeitlicher Änderung* (Differenz der Gesprächszahlen) einerseits und dem *Anteil grundlegender Forschung* an F+E der Bell

---

[120] Vgl. Anhang I.

[121] Dies nach zeitgenössischer Einschätzung (H. Gerdien, »FL-Bericht«; 1929/30, Anhang: 56 f., SAA Le 405) oder auch etwas späteren Überblick in R.M. Hughes (1938:192).

[122] So z.B. Thedieck (1956:41/42).

[123] BTL-Präsident F.B. Jewett berichtet (1932:132/3), daß man sich um 1928, auf dem Gipfel der Boomphase in der Forschung vor allem auf die Lösung der »problems of immediate and pressing necessity« konzentrieren mußte, um sich in der Weltwirtschaftskrise mehr den »fundamental problems« zuwenden zu können. Ebenso in AT&T(1936:7).

Laboratories insgesamt! Dies reflektiert die Tatsache, daß bei Geschäftsrückgang das Produktionsvolumen eher proportional zur *Änderung* des Betriebsvolumens als zu dessen *absolutem Stand* zurückgeht. Gingen z. B. die Betriebseinnahmen der AT&T von ihrer Spitze (1930) bis 1933 um 21% zurück, so ging der Produktionsumsatz der Western Electric von seiner Spitze (1929) auf 1933 um 83% zurück![124]

Dank dieser Konstruktion der Finanzierung läßt sich ein erstaunlich genauer direkter Zusammenhang zwischen der Entwicklung der *Nutzung der Technik* und der relativen Bedeutung grundlegender Forschung, d. h. auch der *Chancen für allgemeine Theorienbildung* angeben; bei Stagnation des Betriebes auf einem hohem Stand stieg, mit der zurückgehenden Finanzierung durch die Produktionsseite, der relative Anteil der grundlegenden Forschung.

Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit dem, das man erhält, wenn man z. B. Telegrafie oder Telefonie insgesamt als wissenschaftliche Fachgebiete betrachtet und die Chancen für allgemeine Theoriebildung am größten findet bei Stagnation der Publ izierung neuer wissenschaftlich/technischer Ergebnisse auf einem hohen Stand.[125]

1.3.2 DIE ABTEILUNG »TRANSMISSION RESEARCH« DER BELL TELEPHONE LABORATORIES

Leiter der Abteilung »Transmission Research« war R.V.L. Hartley bis zum Ende der zwanziger Jahre.[126] 1962 arbeiteten unter ihm drei Arbeitsgruppen, eine unter R.C. Mathes war mit »fundamental studies in voice transmission and telegraphy«, eine unter J.W. Horton mit »Carrier transmission for telephony, telegraphy and wire broadcasting« und Bildübertragung und die dritte unter K.S. Johnson mit »basic theoretical studies of networks and design of special forms of filters« befaßt.[127] Diese Abteilung war für die Erforschung der Übertragungsprinzipien der verschiedensten Systeme zuständig, deren Einzelaspekte in anderen Abteilungen untersucht wurden.[128] 1930 hatte diese Abteilung immerhin 148 Mitarbeiter.[129]

Im gleichen Jahr, 1926, hielten Hartley und J.W. Horton am Massachusetts Institute of Technology (MIT) einen Kurs unter dem Titel »Frequency Relationships in Electrical Communication«[130], den Hartley in ähnlicher Weise unter dem Titel »Frequency Relations in Electrical Communications« 1927 auf dem erwähnten Kongress der Nachrichtentechniker in Como vortrug.

Dieselbe Arbeit wurde 1928 als »Transmission of Information« im Bell System Technical Journal veröffentlicht.« Hartleys Ziel in dieser Arbeit war es,

> »to set up a quantitative measure whereby the capacities of various systems to transmit information may be compared. In doing this I shall discuss its application to systems of telegraphy, telephony, picture transmission and television over both wire and radio«. (Hartley; 1928:535)

---

[124] AT&T Jahresbericht 1940 in EFD 58; Sept.1941:253.
[125] Vergl. Abschnitt 11.2.5.
[126] Findley (1926:165) und Organisationsplan der Abteilung »Transmission Research«, BAA G.E.I. 1.2-324-325; 1.10.1930, in dem O.E. Buckley als »acting transmission research director – in the absence of R.V.L. Hartley« angegeben ist. 1929 hatte Hartley die Leitung der Abteilung wegen Krankheit aufgegeben (BLR; 1946,3:122/3, »R.V.L. Hartley Awarded I.R.E. Medal of Honor«).
[127] Findley (1926:165).
[128] Die Probleme der Funktechnik z.B. Kurzwellenausbreitung, Röhrentechnik, Empfangstechnik wurden 1926 in den BTL von William Wilson geleitet, außerdem existierte eine entsprechende Gruppe unter Ralph Bown im D&R Department der AT&T (Organisationsplan des D&R Dept.) und Findley (1926:166).
[129] Ein erster Abstrakt findet sich in Revue Générale de l'électricité 22; 17.12.1927, 24:1044 unter dem 8. Tagesordnungspunkt »Telegrafie und Telefonie auf langen Leitungen und verwandte Probleme«.
[130] Wildes (1971:4-80). Im gleichen Jahr hatte Hartley eine erste Fassung seines Papiers unter dem Titel »Transmission Limits of Telephone Lines« (1926) veröffentlicht.

Diese Arbeit war ein Versuch, ein einheitliches Konzept der Nachrichtenübertragung zu entwickeln, ein Maß der Nachrichtenmenge aufzustellen und die Grenzen verschiedener Systeme somit vergleichbar zu machen.

Für Hartley mußte die Notwendigkeit eines solchen Maßes deutlicher erscheinen, als für andere Autoren in den Labors der Nachrichtentechnik. Anspruch und Gültigkeitsbereich dieser Hartleyschen Theorie entsprachen exakt seinem unmittelbaren Erfahrungsbereich, der »Übertragungsforschung«. Ebenso, wie zu seiner Zeit ein Versuch, *alle* Nachrichtenübermittlungstechniken anhand eines *einheitlichen Maßes* in ihrer Effizienz *vergleichbar* zu machen absolut ungewöhnlich war, war ein *solcher Art zusammengefaßter Bereich* in der nachrichtentechnischen Forschung der Zeit zwischen den Weltkriegen ungewöhnlich.

Zum Vergleich: im Siemens ZL wurde erst 1949 eine Abteilung »Übertragungstechnik« gebildet und erst 1952 darin eine Gruppe »Übertragungsforschung«[131], die dann genau dem Bereich entsprach, den Hartley's Abteilung 1926 abgedeckt hatte. Die spätere weitere Behandlung der Shannon'schen Theorie war übrigens im Siemens ZL in genau dieser Abteilung und dieser Gruppe angesiedelt,[132] was die funktionale Entsprechung noch deutlicher macht.

Festgehalten sollte auch werden, daß hier Einflüsse der *Markt- und Unternehmensstruktur* in den zwanziger Jahren eine organisatorische Zusammenlegung von Telegrafie und Telefonie ermöglicht hatten, die erst viel später, mit den Pulsübertragungstechniken, auch von *technischen* Mitteln der Vereinigung von Prinzipien der Telefon- und Telegrafenübertragungstechnik gefolgt wurde.[133] Erst dann war die wissenschaftliche Resonanz groß genug,

um der Hartley'schen Theorie (und ihren Folgearbeiten) größeres Interesse zu sichern.

Ebenso war eine derart strukturierte Abteilung der geeignete Ort für die gegenseitige Befruchtung der Übertragungsaspekte verschiedener Techniken. So nutzte man Verfahren aus der Telegrafie für die Lösung verwandter Probleme in der Schaltung oder versuchte die Vorteile der telegrafischen Übertragung für die Telefonie fruchtbar zu machen.[134] Resultat dieser »interdisziplinären« Bemühungen, mit Hilfe telegrafischer Prinzipien die Übertragungsbandbreite der Telefonie zu reduzieren, war der »Vocoder« Homer Dudley's (Transmission Research).[135]

Nach 1934 löste sich auch in den BTL diese Abteilung auf. Einmal hatte bereits 1928 die wachsende Rolle der Funktechnik für die Übertragungstechnik innerhalb des Bell Systems den Leiter der AT&T-Paralleleinheit zu dieser Abteilung »Transmission Development« (O. B. Blackwell) veranlaßt, seine Unsicherheit über deren Rolle in dem Department zu äußern:

> »radio being a new field has so far resulted in little existing plant and few established practices. There is no connecting wire system, which serves as a basic for much of our other work. As a result there have been some differences of opinion as to what our functions should be in this new field.« (Blackwell; 15.10.1928:2)[136]

Die struktursprengende Kraft der Entwicklung der Funktechnik wurde noch durch die Zusammenlegung von AT&T, D&R Department und BTL verstärkt. Eine größere Gruppe für »Radio Research«

---

[131] Organisationsplan, ZL; Okt. 1949 und 1952, SAA Li186.
[132] Durch die Autoren Hölzler und Holzwarth. Letzterer einziger Siemens-Teilnehmer auf dem 1. Informationstheorie-Kongress, 1950 in London (IRE Trans, vol . PGIT-1; 1953).
[133] Notwendiger, aber in den meisten Fällen eben nicht hinreichender technischer Hintergrund der Zusammenlegung war der Übergang der Telegrafie zur Wechselstromtelegrafie auf Fernsprechleitungen.
[134] Buckley (18.2.1935:46 f.).
[135] Beim Vocoder handelt es sich um eine Vorrichtung, die die Übertragung von Sprache auf die Übertragung der Steuerimpulse für ein Lautbildungsgerät reduziert, das auf der Empfängerseite synthetische Sprache erzeugt. Die Steuerimpulse werden ihrerseits durch einen automatischen Sprachanalysator erzeugt.
[136] Brief an E.H. Colpitts, BAA F.B. Jewett Cab., F. :III.2.

(Ltg. R. Bown) wechselte in die BTL über. 1935 hatten sich zwei Unterabteilungen herausgebildet in »Transmission Research«, die die Abbildung 5 zeigt: »Circuit« unter R. Mathes, einem ehemaligen Hartley-Mitarbeiter und »Radio« unter R. Bown. In der Gesamtabteilung (Ltg.: W. Wilson) waren noch immer Leitungs- und Funkübertragung für die Techniken

> »commercial telephony ..., broadcasting program circuits, telegraphy, signalling, phototelegraphy and television« (Buckley; 18.2.1935:47 f.)

zusammengefaßt.

In der produktorientierten Abteilungsstruktur bei Siemens im ZL dagegen bildete sich unter dem Druck technischer Entwicklung eine reine Projektstruktur heraus, während die funktional bestimmte Abteilungsstruktur der BTL-Forschungsabteilung stabil blieb.[137]

Neben den bekannten Eigenschaften größerer Kontinuität der Forschungsrichtung (Abteilung) und Flexibilität (Projekt)[138] ist hier vor allem ein Nachteil der cell-Struktur von Interesse, der bereits 1920 so angegeben wurde:

> »men who are good organizers and who are of the type that can carry on work requiring many assistants do not easily find a place in it.« (Mees; 1920:82)

In einer Projekt-Struktur waren wissenschaftlich/technisch/organisatorische Funktionen, wie Hartley sie wahrgenommen hatte, viel seltener und zeitlich von geringerer Dauer. Hartley's Informationskonzept war ein direkter Ausdruck dieser Funktionen:

> »Broadly ... Mr. Hartleys contribution was the intangible one of *clarifying ideas and arranging them in a useful pattern.* Nowhere is that better seen than in a paper ›Transmission of Information‹ which brought together a lot of ideas which had been implicit in the thinking of transmission men.« (BLR; 1950, 1:38)

Will man die wichtigsten Stadien einer Nachrichtentheorie, die in der Forschung des Bell Systems entstanden etwas einseitig durch die institutionelle Position ihrer Autoren, Nyquist (1924), Hartley (1928) und Shannon (1948) charakterisieren, so kann man mit einigem Recht von der Nyquistischen Telegrafentheorie als einer »Line« Theorie, dem Hartleyschen Informationskonzept als einer »Staff« Theorie und der Shannonschen Informationstheorie als einer »consulting« Theorie sprechen; die erste die methodisch klare Theorie eines eng begrenzten Sachgebietes und Problembereiches (Vergleich der Effizienz verschiedener Telegrafiersysteme), entstanden auf der untersten Ebene der Forschungsstruktur in einer klassischen Theorieabteilung; die zweite die methodisch vage Theorie eines umfassenden Gebietes (Vergleich der Effizienz aller Übertragungstechniken), entstanden in der dieses Gebiet leitenden Ebene des technischen Managements; die dritte die methodisch klare und strenge Theorie eines umfassenden Gebietes (Vergleich verschiedener Nachrichtenquellen und gestörter Übertragungssysteme allgemein), entstanden in einer Consulting-Abteilung (für die besondere Operationsbedingungen galten) mit eigener Forschungskompetenz.[139] (Siehe auch Diagramm 3.)

---

[137] Diese hatte allerdings ein weit geringeres Wachstum der Zahl der Wissenschaftler und Ingenieure zu absorbieren: während deren Zahl in den BTL 1939 auf das 1,3fache ihres Wertes von 1933 angestiegen war, wuchs sie im ZL der Siemens- und Halske AG zwischen 1933 und 1939 um das 2,2-fache, also wesentlich stärker (vgl. Tabelle 4 und die dort angegebenen Quellen).
[138] Z. B. bereits in Mees (1920:80 f.) oder Steimel (1963:28 f.) oder anderer Literatur zu F+E-Management zu finden, wie Kern, Schröder (1977).
[139] Dies ist z. T. ein Vorgriff auf Abschnitte II,2; II,3; III,1 und III,3.

1.3.3 THEORIEBILDUNG IM DEPARTMENT OF DEVELOPMENT AND RESEARCH DER AT&T

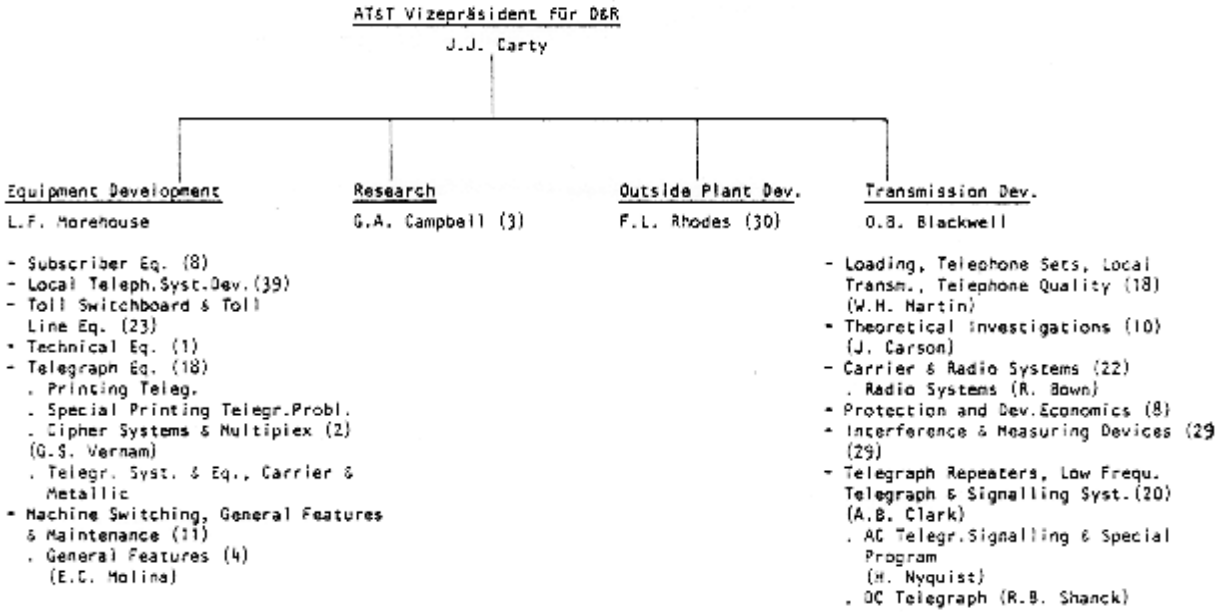
Theoretische Nachrichtentechnik und Telegraphentheorie, Vorstufe des Hartley'schen Informationskonzeptes, entstanden in den 20er Jahren in separaten Theoriegruppen, die nach Problemgebieten definiert waren.

Die meisten Autoren allgemeinerer theoretischer Arbeiten der Leitungstheorie, der Verkehrstheorie[140] und des Betriebes nachrichtentechnischer Systeme insgesamt waren bis zum Anfang der dreißiger Jahre im Department of Development and Research der AT&T beschäftigt. Ein Teil der Tätigkeit überschnitt sich mit der der BTL, jedoch die System-Betrachtung von Schaltung und Übertragung »did not parallel the Laboratories departments« (Blackwell 5.8.1935:1)[141]

Das D&R Department war funktional gegliedert in die Abteilungen: Geräteentwicklung (Equipment Development), Netzentwicklung (Outside Plant Development) und Übertragungsentwicklung (Transmission Development), sowie einige Projekt- oder personell definierte Gruppen. In Abbildung 6 ist die Organisation des D&R Departments vereinfacht wiedergegeben, so wie sie Ende 1922 bestand und 322 Angestellte umfaßte.[142]

[140] Mit Verkehrstheorie ist hier die Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie auf Fragen der Bewältigung großer und unterschiedlich verteilter Gesprächszahlen durch ein Fernsprechsystem gemeint.
[141] Brief an E.H. Colpitts vom 5.8.1935:1, BAA F.B. Jewett Cab., D. :114, F. :140 Blackwell war ehemals Leiter der Abteilung »Transmission Development« des D&R Departments der AT&T.
[142] American Telephone and Telegraph Co., Org.Chart, D&R Department 15.8.1922, BAA.

ABBILDUNG 6: Aufbau des "Department of Development and Research" der American Telephone and Telegraph Company, 1922*
(Q.: BAA, Organization chart, AT&T-D&R; 15.8.1922)


AT&T Vizepräsident für D&R
J.J. Carty
Equipment Development
L.F. Morehouse
- Subscriber Eq. (8)
- Local Teleph.Syst.Dev.(39)
- Toll Switchboard & Toll Line Eq. (23)
- Technical Eq. (1)
- Telegraph Eq. (18)
. Printing Teleg.
. Special Printing Telegr.Probl.
. Cipher Systems & Multiplex (2) (G.S. Vernam)
. Telegr. Syst. & Eq., Carrier & Metallic
- Machine Switching, General Features & Maintenance (11)
. General Features (4) (E.C. Molina)
Research
G.A. Campbell (3)
Outside Plant Dev.
F.L. Rhodes (30)
Transmission Dev.
O.B. Blackwell
- Loading, Telephone Sets, Local Transm., Telephone Quality (18) (W.H. Martin)
- Theoretical Investigations (10) (J. Carson)
- Carrier & Radio Systems (22)
. Radio Systems (R. Bown)
- Protection and Dev.Economics (8)
- Interference & Measuring Devices (29) (29)
- Telegraph Repeaters, Low Frequ. Telegraph & Signalling Syst.(20) (A.B. Clark)
. AC Telegr.Signalling & Special Program (H. Nyquist)
. DC Telegraph (R.B. Shanck)

* Zur Vereinfachung wurden auf der Ebene unterhalb der AT&T Vp."Executive Assistant" (63) und Electrical Interference" (2) weggelassen. Die Zahlen in Klammern geben die Zahlen der jeweiligen Mitarbeiter. Es wurden stets nur die Gruppen in Eq.Dev. und Tr.Dev. unterhalb der durch "-" gekennzeichneten Ebene genannt, die für diese Arbeit von Belang sind.

Im Zusammenhang mit der besonderen Einrichtung der »Mathematical Research« Abteilung der BTL[143], deren Entwicklung und besondere Rolle für die Entstehung der Shannonschen Informationstheorie in Teil 3 diskutiert wird, ist es von Interesse, die davon verschiedene Organisation der theoretischen Arbeit im D&R Department anhand der obigen Organisationsübersicht eingehend zu betrachten.

Direkt unterhalb der Ebene des AT&T Vizepräsidenten für F+E stand in der Organisation G.A. Campbell mit zwei Mitarbeitern als »Research Engineer«, auf gleicher Ebene mit den funktional bestimmten Abteilungen. Campbell war durch die Entwicklung des Wellenfilters und der »loaded cables«[144] als der für die Telephone Company produktivste Theoretiker ausgewiesen. Seine Position auf dieser Ebene war die eines »free lance investigators«, der in freiem Kontakt mit allen Ebenen und Funktionen der Abteilung über seine Forschungsprojekte selbst entscheidet. Er war dafür mit einem kleinen persönlichen Stab ausgerüstet. Kein anderer Theoretiker hatte ansonsten eine derartige Position inne.

Auf der zweiten Ebene, in der Abteilung »Transmission Development« war John Carson Leiter der Gruppe »Theoretical Investigations«, mit dem größten Stab, der einem Theoretiker des D&R zur Verfügung stand: 2 Wissenschaftler und 6 »Computers« – wissenschaftliches Hilfspersonal für numerische Berechnungen.

[143] In Abschnitt III.1.
[144] Vergl. Abschnitt II.2.

Carson war einer der wichtigsten Theoretiker der Nachrichtentechnik überhaupt. Er leistete Entscheidendes für den Aufbau einer Leitungstheorie auf der Basis der maxwellschen Elektrodynamik, für die Weiterentwicklung des Heavisideschen Operatorenkalküls[145] und die Entwicklung einer Theorie der Modulation[146].

Die Zahl der zugeordneten »Computers« ist aufschlußreich für die Abschätzung des Umfangs numerischer Berechnungen in dieser Gruppe. Es ist nicht überraschend, daß in der mit Filtertheroie befaßten Gruppe Carsons 6 von insgesamt 8 Computers des D&R konzentriert waren.[147]

Dieser Gruppe entsprach in Deutschland, im Telegrafentechnischen Reichsamt die Gruppe »Leitungstheorie. Kettenleiter«[148] in der Versuchsabteilung. Wichtigster deutscher Theoretiker auf diesem Gebiet war der Direktor des TRA Karl Willy Wagner – aktiv auf genau demselben Gebiet wie Carson.[149] Interessant ist das unterschiedliche weitere Schicksal beider Arbeitsgruppen bzw. ihrer Leiter, Wagner schied 1927 aus dem TRA aus, da sich dieses immer weiter von der Forschung in Richtung auf Entwicklung hin bewegt hatte, was jede Forschungsabteilung zu vermeiden bestrebt sein mußte. Als Initiator des »Heinrich Hertz Institutes für Schwingungsforschung« wurde er dessen erster Direktor.[150] Die theoretische Arbeitsgruppe verschwand mit ihm aus dem TRA.

Carson dagegen wurde bei der Zusammenlegung des D&R mit den BTL 1934 in die Abteilung »Mathematical Research« in einer Position auf gleicher Ebene zu deren Leiter T.C.Fry aufgenommen. Diese Integration war einer der wichtigen Anstöße, aus einer Consulting Abteilung eine Theorieabteilung zu machen.[151]

Eine weitere Theoriegruppe bestand in der Abteilung »Equipment Development«: in deren Unterabteilung »Machine Switching, General Features and Maintenance« leitete E.C. Molina die Gruppe »General Features«, mit zwei Mitarbeitern und einem »Computer«. Molina war einer der ersten und wichtigsten Verkehrs- und Schaltungstheoretiker in der Nachrichtentechnik überhaupt. Als einer der ersten führte er wahrscheinlichkeitstheoretische Überlegungen in die Nachrichtentechnik ein.

Schließlich sei Harry Nyquist erwähnt.[152] Ebenso wie Molina (»General Features«) und Carson (»Theoretical Investigations«) ließ auch Nyquists Arbeitsbeschreibung die für abstrakte theoretische Arbeit notwendige Unklarheit: er leitete eine Gruppe »AC-Telegraph Signalling and Special Problems« (»Wechselstromtelegraphie und Sonderaufgaben«) , die ihrerseits Teil der Unterabteilung »Telephone Repeaters, Low Frequency Telegraph and Signalling Systems« (»Telefonverstärker, Niederfrequenz und Signalsysteme«) des »Transmission Development Department« waren.

Dieses Department war das Pendant für die Probleme des Betriebes zu dem »Transmission Research« Department der BTL – für die Produktion. Während die »physical things« der Gegenstand aller Forschung und Entwicklung der BTL seien, sei für die Arbeit der D&R Departments einschließlich des

---

[145] Diese Arbeit war zusarnengefaßt in »Electrical Circuit Theory and the Operational Calculus«, MacGraw-Hill (1926) und stellte »perhaps his greatest scientific contribution« dar (Espenschied; 24.4.1956:3). Dieser Kalkül stellte eine Algebraisierung der analytischen Darstellung von Zeitfunktionen durch deren Formulierung als Funktionen der Frequenz dar. Dieser Übergang wurde durch eine Laplace-Transformation bewirkt.

[146] Er wies 1922 nach, daß die Frequenzmodulation keine Vorteile der Bandbreitenersparnis gegenüber der Amplitudenmodulation bringen konnte.

[147] Vergl. III.1 über die Entwicklung der Gruppe für »Mathematical Research«.

[148] Siehe den im Anhang 1 wiedergegebenen Organisationsplan des TRA. »Kettenleiter« war die deutsche Bezeichnung für Wellenfilter.

[149] Ebenso war Wagners besonderes Gebiet die Verbesserung des Heavisideschen Operatorenkalküls; sein entsprechendes Werk war »Operatorenrechnung und Laplacesche Transformation, insbesondere Anwendungen in Physik und Technik«, Berlin; 1940.

[150] Anhang I.

[151] Ab 1934 wurden in der Abteilung verschiedene feste Sachgebiete eingeführt und diese zum »Physical Research Department« transferiert (BAA, Math.Res., 1922-1957 Personalliste). Vergl. III.1.

[152] Dessen Arbeiten im Detail in II.3.

»Transmission Development« entscheidend »the ›systems‹ angle from which most of our work is carried on«. (Blackwell; 16.10.1924:6)[153]

Dies beschrieb auch exakt die Ebene, auf der Nyquists Telegrafentheorie lag.

An der Zahl seiner wissenschaftlichen Mitarbeiter, 8, und einem Laborassistenten, kann man die Bedeutung ersehen, die zu der Zeit der theoretischen Klärung von Betriebsproblemen der Telegrafie beigemessen wurde, als deren Anpassung als Unterlagerungstelegrafie an die Kabelstrecken der Telephonie auf dem Programm stand.[154] Nach der Eingliederung der D&R Mitarbeiter in die BTL 1934 wechselte Nyquist in eine Gruppe von »Consulting Engineers«[155] und berichtete fortan unter »Transmission Theory – Development and Consultation«,[156] ein Arbeitsbereich, der 1945 noch unter Nyquist in »Mathematical Theory – Development and Consultation« umbenannt wurde und in erklärtermaßen ähnlichen Aktivitäten wie die Gruppe »Mathematical Research« engagiert war[157] – allerdings ohne deren mittlerweile errungene Autonomie in der Forschung. Eine derartige fachspezifische Definition der theoretischen Aktivität in Grundlagenbereichen als Mathematik vermied solche Begriffe wie »Sonderprobleme« oder »allgemeine Erscheinungen«. Derartige Theoriegruppen aber waren zwischen den Weltkriegen in der Nachrichtentechnik die Regel, die Abteilung »Mathematical Research« die Ausnahme in der Industrie überhaupt.

Den direkten technischen Sachgebieten, in denen sich theoretische Probleme ergaben, waren derartige Gruppen zugeordnet, nicht aber zentral zusammengefaßt. Mit anderen Worten, zu dieser Zeit waren alle Theoriegruppen in »line« positionen! Genau dieselbe Struktur weist die inhaltliche Klassifikation der nachrichtentechnischen Arbeiten in verschiedenen Bibliografien der Zeit zwischen den Weltkriegen auf: nach Techniken geordnet und jeweils unter dem ersten Punkt, »Allgemeines«, die stets noch nicht allzu zahlreichen theoretischen Arbeiten besprochen. [158]

Inhaltliche Sicht des Gegenstandsbereiches und die Einteilung der Forschungsaktivitäten in den Industrielabors hingen eng miteinander zusammen.

---

[153] Memorandum for E.H. Colpitts, Ass. Vizepräsident AT&T; 16.10.1924:6, BAA F.B. Jewett Cabinett, Folder III.2.
[154] Nyquist (23.10.1962:2 f.).
[155] BLR (1940,3:209).
[156] Nach seiner späteren Erinnerung habe er sich nach dem Übergang zu den BTL (in eine weit weniger an ein Projekt oder ein Sachgebiet institutionell gebundene Position des »Consulting Engineer«) nur noch mit einer Vielzahl kleinerer Projekt befassen können. (Nyquist; 23.10.1962)
[157] »1946 Authorization for work«; 1.1.1946:1 BAA Correspondence Folder, Central Files, Case book 1778 von 23151-54 bis 39061, Case 35835.
[158] Vergleiche die unter II.2 angegebene Struktur der Klassifikation im »Jahrbuch der Elektrotechnik«, ebenso ging die Dezimalklassifikation vor, siehe »Schriftenschau der DRP«.

2. DIE TECHNIK

Vier Techniken der elektrischen Übermittlung und Verbreitung von Nachrichten bildeten zwischen den zwei Weltkriegen die Fernmeldetechnik: Telegrafie, Telefonie, Rundfunk und später das Fernsehen. Diese verschiedenen Nachrichtentechniken stellten identifizierbar separate Komplexe aus Nachrichtenform und Topologie von deren Verteilung, aus Übertragungs- und Systemtechnik dar. Die Bedingungen für deren effiziente Operation waren unterschiedlich, sie folgten unterschiedlichen F+E-Programmen und ihre grundlegenden theoretischen Probleme waren verschieden. Die Richtung des technischen Wandels in der Nachrichtentechnik war zu einem Teil von der sich ändernden Bedeutung dieser einzelnen Techniken innerhalb des Gesamtgebietes bestimmt. Die allgemeinen theoretischen Fragestellungen veränderten sich damit qualitativ.

Mit wachsender Geschwindigkeit dieses Wandels sank die Rolle genereller Theorien überhaupt zugunsten der Klärung von Detailproblemen.

2.1 TELEGRAFIE, TELEFONIE, RUNDFUNK

2.1.1 VERSCHIEDENE NACHRICHTENTECHNIKEN

In den mehr oder weniger beiläufigen Darstellungen der frühen Entwicklung der Informationstheorie existiert ein Widerspruch.

Einerseits wird die besondere Rolle der Telegrafie als Grundmodell dieser Theorie gesehen,[159] andererseits aber diese als die *allgemeine Theorie der Kommunikation* verstanden, die erstmals die Frage beantwortete, »What is sold in a communication channel?« (Gabor; 1953).[160]

Akzeptiert man diese Ansicht, muß man sich wundern, warum zwischen den ersten Ansätzen zu einer Informationstheorie von Nyquist und Hartley (1924/1928) eine so lange Zeit verstrich, in der zwar die Fernmeldetechnik sich rapide weiterentwickelte, an einer Weiterführung dieser ersten Ansätze jedoch kaum Interesse bestand.[161]

Diese Frage der *Zeitverschiebung* kann man nur beantworten, wenn man die Vorstellung einer einheitlichen Fernmeldetechnik, deren grundlegende Fragen einheitlich auf einen Informationsbegriff gezielt hätten, aufgibt und, der deutlichen Unterscheidung von Telegrafie, Telefonie und Rundfunk in Markt- und F+E-Struktur folgend, diese auch in *technischer Hinsicht als separat* auffaßt (trotz vieler Übereinstimmungen in Detailtechniken). Für alle drei galten unterschiedliche Effizienzforderungen, die sich zudem in den 20er und 30er Jahren auch in unterschiedlicher Weise veränderten. In »der« Fernmeldetechnik verschoben sich »die« grundlegenden Fragen beträchtlich mit der Verschiebung der Gewichte dieser drei Techniken in ihr.

Es ist des öfteren Kritik daran geäußert worden, die verschiedenen Nachrichtentechniken in Telegrafie, Telefonie und Funk zu unterteilen, da dies keine logisch konsistente Klassifikation darstelle. Tele-

---

[159] Vergl. z. B. Jaglom, Jaglom (1967:295) oder Pierce (1965:35).
[160] So z. B. Meyer-Leifer (1952:1), Steinbuch (1971:1 ff.), Jackson (1950:iii) oder Wiener (1949:74), der sich erstaunt zeigte, daß »most books on communications say nothing about information«.
[161] So z. B. Pierce (1965:57 f.).

grafie und Telefonie unterschieden sich in der Nachrichtenart, während Funk eine *Übertragungstechnik* sei.[162]

Diese auf den ersten Blick sehr plausible Kritik konnte erst in einer ziemlich späten Phase der Entwicklung der Fernmeldetechnik geäußert werden, besonders nach dem Verschwinden der klassischen Telegrafie.[163]

Die Unterschiede zwischen klassischer Telegrafie und Telefonie, wie auch dem die Funktechnik lange dominierenden Rundfunk waren keineswegs auf die unterschiedlichen Nachrichtenarten oder Übertragungstechniken beschränkt, sondern jede Technik wurde jeweils durch ein ganzes Bündel von Eigenschaften charakterisiert. Der entscheidende Unterschied zwischen den Techniken in den zwanziger bis dreißiger Jahren war die, mit Nachrichtenart und Übertragungstechnik verbundene, aber weitere Folgen zeitigende *verschiedene Topologie der jeweiligen Nachrichtenflüsse.*[164]

Deutlich werden diese Unterschiede beim Vergleich zweier Fernschreibsysteme – *dieselbe Nachrichtenart* –, die in den USA in den dreißiger Jahren miteinander konkurrierten und von denen eine von einer Telegrafengesellschaft (TWS – Western Union Telegraph Co.) und das andere von der Telefongesellschaft (TWX – AT&T) betrieben wurde.

Ebenso läßt sich der Unterschied zwischen Telefonie und Rundfunk – dieselbe Nachrichtenart (akustische Schwingungen) – und z.T. auch dieselbe Übertragungsmethode – Funkstrecken – am Beispiel der ersten kommerziellen Rundfunkstation der USA, WEAF in New York, erläutern, die von der Telefongesellschaft AT&T betrieben wurde bis zum Ende der zwanziger Jahre.

Das erste Beispiel wird im Anschluß diskutiert, das zweite im Abschnitt über Funktechnik.

2.1.2 TELEGRAFIE UND TELEFONIE

Digitale Übertragungstechniken, bei denen der Zusammenhang zwischen den zu übertragenden Nachrichten und den übertragenen Signalen in der Vereinbarung von Zeichen begründet war, unterschieden sich wesentlich von analogen Übertragungstechniken, wo die übertragenen Signale kontinuierliche (oder, wie im Falle von Multiplexsystemen auch diskrete) physikalische Abbilder der Nachrichten waren. Grob gesagt, zeichneten sich digitale Techniken durch die Einfachheit der übertragenen Signalfunktionen und die Komplexität der Endgeräte aus, da die übertragenen Signale einfache Impulskombinationen sein können (im einfachsten Fall Strom – Nichtstrom), die unterwegs regenerierbar sind, die Endeinrichtungen aber die anfallenden Nachrichten in die spezifischen Zeichen – und Signalsysteme übersetzen müssen, bzw. sie aus diesen rekonstruieren. Dies galt sowohl für die Telegrafie, deren Personalaufwand anfangs 80% der Kosten ausmachte[165] und deren Endgeräte nicht in die Hände der Teilnehmer selbst gegeben werden konnten[166], wie auch später für die Puls-Code-Modulation von Fernsprechsignalen. Bei dieser konnte die notwendige hohe logische Komplexität aber bereits im technischen Gerät selbst liegen.[167] Als Beispiel mag man die Kosten für die im 2. Weltkrieg entwickelten genormten Telegraphen- und Telephon-Terminals CF-2 bzw. CF-1 ansehen: 5.600 $ gegenüber 3.000$.[168]

---

[162] Ohnesorge (1941/42:9) und Mills (1943:212).
[163] »Klassische Telegrafie« meint eine historisch/technische Phase in der Entwicklung der Telegrafie, die durch Gleichstrombetrieb, Zwei-Punkt-Verbindungen und hohe Leitungskosten charakterisiert war. Folgen davon waren beispielsweise Systemvielfalt und die Forderung nach Effizienzsteigerung durch die Erhöhung der Telegrafiergeschwindigkeit.
[164] W. Reger, H. Rudolph, W. Vollmeyer, »Übertragungstechnik« in K. Steinbuch (1967:842) verwenden diesen Begriff.
[165] Küpfmüller (1939:9) und Sautter (1951:223).
[166] So z. B. Stahl (1941:357).
[167] Dies ist ebenfalls ein nachrichtentechnischer Allgemeinplatz, vergl. z. B. Ring (1952:117).
[168] Signal Corps (1957:68).

Für analoge Techniken, wie das Fernsprechen, galt genau das Gegenteil. Die zu übertragenden Funktionen waren von der gleichen hohen Komplexität wie die Nachrichtenformen, die sie abbildeten,[169] weshalb die Endgeräte[170] nur die Funktion der *physikalischen Abbildung*, nicht aber der Reduktion von Komplexität wahrzunehmen hatten[171] und daher notwendigerweise einfacher und billiger sein konnten.

Weil Übertragung und physikalische Produktion der Signale zunächst schwieriger war, war die Telefonie erst der zweite Schritt nach der Telegrafie (bei der anfangs die »Komplexität der Endgeräte« im Training von Personal bestand) und weil die Endgeräte in die Hände der Benutzer selbst gelegt werden konnten, verbreitete sie sich später rascher. Eben deshalb auch bildete sie Netze aus, die die Benutzer unmittelbar miteinander verbanden und nicht – wie in der Telegrafie – nur speziell ausgebildetes Personal in zentralen Ämtern.

Am deutlichsten wird dieser Unterschied, wenn man ihn am Beispiel der erwähnten Fernschreibsysteme »Teletypewriter Exchange« (TWX) der AT&T und Timed Wire Service (TWS) der Postal Telegraph-Western Union kurz veranschaulicht.

Beim TWS-System der Telegraphengesellschaft wendet sich der Teilnehmer an eine Zentrale, der er auf Lochstreifen seine mit Absender und Adresse versehene Nachricht durchgibt. »Für die Weitergabe des Fernschreibens sorgen die Organe der Gesellschaft« (Storch; 1937:168). Bezahlt wird nach Entfernung und der Zeit, »die der Absender zur Niederschrift seiner Nachricht auf den Lochstreifenempfänger braucht« (ibid.), d. h. im Prinzip für die Wortzahl, denn man rechnete 3 Minuten für 100 Worte.
Anders beim TWX-System der Telefongesellschaft, über das es hieß:

> »The telephone companies, as is well appreciated, operate on the basic principle of furnishing the instrumentalities (...) by which their customers can communicate satisfactorily. This *same basic principle* has been followed in the furnishing of telegraph service ... with a nationwide switching system known as teletypewriter exchance service. In the ... system a subscriber can request connection to any other subscriber or group of subscribers at any time. In all of these services the customers transmit their own message, however, using arrangements provided for them.« (Duncan, Parker, Pierce; 1944:1032)

Nach Anrufen einer Zentrale verbindet diese den Teilnehmer direkt mit dem von ihm gewünschten Adressaten. Ist dieser nicht anwesend, so kann die Vermittlung dessen Fernschreiber in Gang setzen, so daß er das Fernschreiben aufnehmen kann. Normalerweise ist nach der Herstellung der Verbindung ein echter Wechselverkehr der Beteiligten untereinander möglich.[172] Bezahlt wird in diesem Fall nach Entfernung und der Dauer der Verbindung – wie in der Fernsprechtechnik.

Dieser Unterschied – *Abgabe einer Nachricht an ein »Transportunternehmen«* einerseits, *Herstellung einer unmittelbaren Verbindung zwischen Teilnehmern* andererseits[173] – spiegelt sich auch in den je-

---

[169] Daher wurden auch andere theoretische Beschreibungsmodelle bei der FernsprechÜbertragung nützlich, die diese Schwingungen nicht mehr als Zeit-, sondern als Frequenzfunktionen darstellten. So z. B. in Fagen (1976:198).

[170] Unter »Endgeräte« werden hier die von den jeweiligen Benutzern bedienten Geräte verstanden. »Komplexität« betrifft die zu leistenden Funktionen, ist also nicht auf den Charakter eines intern ablaufenden physikalischen Prozesses anwendbar. Im Grenzfall der Telegrafie schließt der Begriff der »Komplexität der Endgeräte« auch das zu deren Bedienung notwendige Training ein – wenn die technischen Vorrichtungen, wie eine Morsetaste auch primitiv waren.
Vergl. auch POEEJ (1956:161) in einem Bericht über die Geschichte der Entwicklung von Telegrafie und Telefonie im General Post Office in Großbritannien wird als von besonderem Einfluß auf die Entwicklung das Verhältnis der Leitungs- zu den Personalkosten geschildert. War es hoch (Ü-Strecken teurer als Personal), war das Ziel eine Optimierung der Strecken durch neue Ü-Techniken. War es niedrig (Personal teurer als Ü-Strecken), war das Ziel eine Rationalisierung der Arbeitskräfte, d. h. weg von der personal intensiven klassischen Telegrafie.

[171] Dies betont z. B. Wittiber in Handbuch I (1929:470).

[172] Vergl. Storch (1937:167).

[173] Eben dies wird als Unterschied zwischen Telegrafie und Telefonie auch im Handbuch I (1929:470) von Wittiber angeführt: »Der Fernsprechverkehr unterscheidet sich dadurch grundsätzlich vom Brief- und Telegrammverkehr, daß sich die Mitwirkung der Verkehrsanstalt auf die *Herstellung der Verbindung* beschränkt, während die Übermittlung der Nachricht den beiden mitein-

weiligen Gebührenerhebungen wieder, d. h. in den unterschiedlichen Leistungen, für die bezahlt werden mußte. In einer Untersuchung über »Die innere Konkurrenz zwischen Telegraphen- und Telephonverkehr« stellte Everwin (1937:68) fest,

> »daß sich ein *genauer Vergleich* zwischen den Telegraphengebühren und Fernsprechgebühren für bestimmte Entfernungen *nicht* treffen läßt; denn ... (es) ist *kein Vergleichsmaßstab* gegeben für den Umfang der Nachrichten, die durch ein Telegramm und durch ein Ferngespräch übermittelt werden, da der Gebührenrechnung für Telegramme die *Wortzahl der Mitteilung*, der Gebührenberechnung für Gespräche die *Zeitdauer der Nachrichtenübermittlung* zu Grunde gelegt wird.« (Everwin; 1937:68)

Schließlich war die Folge des digitalen Charakters der Telegrafie – besonders zu Zeiten der klassischen Telegrafie (Gleichstrombetrieb, Zwei-Punkt-Verbindungen, teure Leitungen) – das Vorhandensein einer verwirrenden Vielzahl von verschiedenen Apparat-, Zeichen-, Signalsystemen und Betriebsweisen.[174] Ein AT&T-Memorandum aus dem Jahr 1926[175] nennt 13 verschiedene Systeme in insgesamt 26 Betriebsweisen, deren Leistung nach je 7 Kriterien beurteilt wurde. Dies war *einer* der Gründe, warum die Telegrafie noch lange an das »Zweipunktsystem« gebunden war, d. h. nur über festgelegte Strecken arbeiten konnte, nicht aber die Wege, wie im Netz der Telefonie möglich, beliebig umschalten konnte. Die anderen Gründe dafür, daß die Telegrafie an diesem System festhielt, nannte Stahl in einem Plädoyer für die Einführung eines Fernschreibnetzes in Deutschland:

> »Die Telegrafie beharrt bisher noch auf diesem (Zweipunkt)System, weil die Leitungen teuer sind, die Telegrafiergeschwindigkeit der einzelnen Leitungen verschiedenartig ist, die Vielheit der Telegrafenapparate ein unmittelbares Zusammenarbeiten unmöglich macht und weil bei der Mehrzahl der heute benutzten Apparate ein genauer Gleichlauf notwendig ist.« (Stahl; 1931:357)

Das Letzte heißt, daß für solche Systeme je zwei Apparate aufeinander eingestellt waren und so eine feste Übertragungsstrecke etablierten.

In der Telefonie dagegen konnte es im wesentlichen nur ein System geben, daß sich nach den physikalischen Eigenschaften der gesprochenen Sprache zu richten hatte[176], wie z. B. dem Frequenzbedarf. Die Anpassung der Teile dieses Systems war nicht ein Frage der Umrechnung unterschiedlicher Systeme ineinander[177], sondern der Übertragungscharakteristika der Leitungen, sowie der Vermittlung. Für die Telefonie bestand nämlich wegen ihres Netz-Charakters das Problem der Verbindung aller Teilnehmer untereinander. Abgesehen von der Übertragungstechnik steckte die größte funktionelle Komplexität bei der Telefonie nicht in den Endgeräten, sondern in der Vermittlungstechnik bzw. -organisation, also auf der *Systemebene.* Auf dieser Ebene tauchte dann auch für die Telefonie das Problem der Systemvielfalt auf.[178]

In der Telegrafie wurde das Problem des Transportes des Telegramms in ein bestimmtes Empfängeramt durch »vermehrte Sende- und Empfangsarbeit« (Stahl; 1931:357) gelöst. D. h. das Telegramm wurde zurückübersetzt in schriftliche Form und aufbewahrt, bis eine nächste geeignete Leitung frei

---

ander in Verkehr tretenden Personen zufällt.« Daher hänge der Fernsprechverkehr auch von Tageszeiten u.a. Perioden ab, an denen beide Seiten bereit seien; die *ökonomische Verteilung der Nachrichten über die Zeit,* wie in Telegrafie und Brief-verkehr sei daher in der Fernsprecherei nicht möglich. Ebenso äußerte sich z. B. Richter (1925:283)

[174] So z. B. Hering, Stock (1938:307 f.).

[175] R.B. Shanck, »Transmission Speeds of Telegraph Systems«, Memorandum vom 26.3.1927, BAA, C-12: Drawing No. 907-497.

[176] Innerhalb gewisser Grenzen konnten dabei verschiedene Sprachen durchaus unterschiedliche Anforderungen an die Dimensionierung von Fernsprechsystemen stellen. So war es z. B. für Polnisch wichtiger als für andere europäische Sprachen, hohe Frequenzen sicher zu übertragen, wegen des großen Anteils an Zischlauten. Dieses wurde von T. Korn (1936, 7:219) erörtert.

[177] Wie in der Telegrafie, wo »die Verschiedenheit der Alphabete .... ein großes Hindernis für das Zusammenarbeiten verschiedener Telegraphenapparate« bildete – Mitte der zwanziger Jahre (Handbuch I; 1929:508).

[178] Siehe II.2.4.

war etc.: »Instead of switching circuits, message switching was employed« (Fagen; 1976:474).[179] *Es waren die in Telegrafie und Telefonie vergleichbaren Ebenen daher Nachrichtenebene (Telegrafie) und Vermittlungsebene (Telefonie) als die digitalen Ebenen beider Systeme.*[180]

Zu eben diesem Schluß kommt man auch, wenn man sich nun die für die Beurteilung der Leistung dieser Systeme entscheidenden Kriterien ansieht.

Wie man im einzelnen noch sehen wird, waren dies in der Telegrafie Korrektheit und Geschwindigkeit der Nachrichtenübermittlung, d. h. *Fehlerzahl* und *Telegraphiergeschwindigkeit* und in der Telephonie *Verständlichkeit* und *Geschwindigkeit des Zustandekommens einer Verbindung.* Dabei entsprechen sich die Kriterien Fehlerzahl und Verständlichkeit für Telegrafie und Telefonie nur sehr oberflächlich.[181] Um die Beurteilung der Qualität einer Telefonverbindung war ein ganzer Wissenschaftszweig entstanden einschließlich der Gründung der Acoustical Society of America.[182]

Als theoretisch viel wichtiger erwies sich in der klassischen Telegrafie das Kriterium der Telegrafiergeschwindigkeit, dem in der Telefonie das der Vermittlungsgeschwindigkeit entsprach. Mit dem Begriff der Telegrafiergeschwindigkeit in der klassischen Telegrafie ist man an einem *für die Bildung von Nachrichtentheorien entscheidenden Punkt* angelangt, der weiter unten ausführlich behandelt wird und der hier nur erwähnt werden soll. Der Begriff der Vermittlungsgeschwindigkeit bzw. Wartezeit war in der Telefonie Gegenstand der Verkehrstheorie, die damit das Pendant einer Nachrichtentheorie in der Telegrafie darstellt.

2.1.3 EFFIZIENZFORDERUNGEN

In der Zeit zwischen den Weltkriegen wurde nun die weitere technische Entwicklung, wie auch die diese unterstützende und antizipierende theoretische Forschung der unterschiedlichen Nachrichtentechniken durch die *Effizienzbedingungen der kommerziellen Nutzung* bestimmt.

Das allgemeine Effizienzideal eines »better, cheaper and more extensively usable system« (F.B. Jewett; 1932: 140) schlug sich unter diesen Voraussetzungen in den Arbeitsprogrammen für die AT&T:

> »The ideal and aim today of the American Telephone and Telegraph Company and its Associated Companies is a telephone service for the nation, free so far as humanly possible from imperfections, errors, or delays and enabling at all times any one anywhere to pick up a telephone and talk to anyone else, clearly, quickly and at reasonable cost.« (AT&T; 1940:1)

oder die Deutsche Reichspost:

> »Die von außen an die Post herantretenden Forderungen für den Fernverkehr erstrecken sich in der Hauptsache auf eine Verbilligung des Verkehrs, auf eine Beschleunigung des Verkehrs und auf eine Erweiterung der Sprechgelegenheiten.« (Kölsch; 1926/27:186)

nieder.

Verschiebungen der Effizienzbedingungen waren in dieser Zeit allein Resultat *technischer Entwicklungen,* wie zum Beispiel die sich ändernde Rolle des Kriteriums der Telegrafiergeschwindigkeit, oder der Bandbreite im Rundfunk. Der äußere Effizienzbereich kommerzieller Nutzung dieser drei Techniken blieb konstant.

---

[179] So auch Hering, Stock (1938:307/8).
[180] Die Wählimpulse der Telefonie »may be looked upon as a form of telegraphy« – so in Buckley (18.2.1935:47).
[181] Dies wurde z.B. in einer Konferenz über die Messung der Telefoneffizienz (1948:277) betont.
[182] Siehe Näheres in II.2.4.

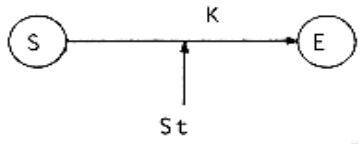
Dies ist, im Unterschied zu der Periode des Zweiten Weltkrieges,[183] das *entscheidende Charakteristikum* der technischen Entwicklung zwischen den Weltkriegen: ihre relative Autonomie.

2.2 DIE TELEGRAFIE

VORBEMERKUNG

Eine Telegrafenverbindung besteht aus einem Sender S, einem Empfänger E, einem Kanal für die Übertragung der elektrischen Impulse K und einer Quelle von Störungen der Übertragung St. Die Aufgabe besteht darin, von S nach E über K und trotz St elektrische Impulse so zu übertragen, daß sie wiedererkannt werden können – möglichst sicher und möglichst billig. Abbildung 7 stellt ein solches einfaches Telegrafensystem dar.

ABBILDUNG 7: Eine Telegrafenstrecke



S:Sender, K:Kanal,E:Empfänger,St :Störungen

Dies ist eine Darstellung, die erst seit den vierziger Jahren verwendet wurde[184] und weit bekannt erst durch die Arbeit Shannons, in der ihre Bestandteile definierte Bedeutungen innerhalb einer Theorie erhielten. Seither gilt sie als *das* Modell der Kommunikation.

2.2.1 ENTWICKLUNG DES VERKEHRS

Die Telegrafie zwischen den Weltkriegen stellte das einmalige Beispiel eines Verkehrsmittels abnehmender Bedeutung dar. Erst der Fernschreiber kehrte ab Mitte der 30er Jahre diesen Trend um. Dieser eindeutige Trend, von dem es interessante Abweichungen gegen Ende dieser Periode gab, läßt sich an verschiedensten technischen Indizes zeigen: Unterbrochen nur durch einen kurzen Boom 1921/22 nahm der Anteil der Telegrammgebühren am Gesamtgebührenaufkommen der Deutschen Reichspost seit 1900 (49,8% der Gebühren aus Telegrafie, 50,2% aus der Telefonie) stetig ab, bis 1919 auf 30%, dann einmal kurz im Jahre 1922 auf 59,1% ansteigend, um dann weiter bis 1930 (10%) kontinuierlich abzunehmen.[185] Die Zahl der Telegramme nahm in Deutschland bis 1936 ständig ab: von 81,5 Millionen im Jahr 1921 auf 19,7 Millionen im Jahr 1936 um danach bis 1940 wieder leicht auf 34,1 Millionen Telegramme anzusteigen.[186] Dieser Trend war eindeutig in allen europäischen Ländern, in denen Telegrafie und Telefonie von denselben Verwaltungen betrieben wurden. Nicht so eindeutig ist er in den USA, wo separate Gesellschaften das Telegrafengeschäft betrieben, vor allem die Western Union

[183] Siehe Teil III.
[184] Die erste derartige schematische Darstellung findet sich bei Lehner (1940) im Zusammenhang mit einem Versuch, eine Systematik zur Klassifikation der verschiedenen Übertragungssysteme und -verfahren zu entwickeln. Die Darstellung ist dabei allerdings lediglich grafisch der Shannonschen Darstellung ähnlich.
[185] Everwin (1937:58).
[186] Sautter (1951:602).

Telegraph Co. (WUN).[187] 1926 wurden in den USA 215 Millionen Telegramme befördert,[188] eine Zahl, die 1932 auf 148 Millionen abgesunken war um bis 1939 wieder auf 195 Millionen anzusteigen.[189] Der Trend war also ähnlich wie in der übrigen Welt, besonders wenn man bedenkt, daß die Absolutzahlen zwar wesentlich höher lagen als in den europäischen Staaten, jedoch nie mehr als 0,3% der gesamten elektrischen Nachrichtenverkehrs zwischen 1930 und 1939 erreichten (Telegramme + 2x Telefongespräche). Die Bedeutung der Telegrafie war in Frankreich oder Großbritannien größer als in den USA. Tabelle 6 gibt den abnehmenden Anteil der Telegrafie am elektrischen Nachrichtenverkehr für einige Länder wieder.

TABELLE 6: Anteil des Telegrammverkehrs am elektrischen Nachrichtenverkehr insgesamt*

(Q.: Everwin(1937:2) und »Telephone Statistics of the World« BTM 20; 1941,3:163 ff. und Weltfernsprechstat. f. 1932, EFD 36: 1934:181)

Land	Anteil der Telegramme an Telegrammen + 2x Telefongespräche			
	1923	1928	1932	1939
Deutschland	2,8%	1,7%	0,4%	0,3%
USA	0,9%	0,8%	0,3%	0,3%
Großbritannien	6,4%	3,8%	1,4%	1,3%
Frankreich	6,7%	4,7%	1,8%	1,4%

* Es wurden dabei wie üblich 2 Telegramme = 1 Telefongespräch gerechnet (der angegebenen Literatur folgend)

Der Faktor, der die Entwicklung der Telegrafie am meisten beeinflußte, war die *Telefonie*, die ihr wegen ihres Vorzugs der unmittelbaren Benutzbarkeit entscheidende Teile des Verkehrs abnahm.[190]

2.2.2 ENTWICKLUNG DER TECHNIK

Bis zu Beginn der zwanziger Jahre bildete eine Technik die Grundlage der Telegrafie, die man als »klassische Telegrafie« bezeichnen kann: die Telegrafierimpulse wurden durch Änderung von Gleichstrom erzeugt; die Verbindungen erfolgten auf festgelegten Zweipunktstrecken; die Personalaufwendungen waren hoch und die Leitungen teuer. Wichtigste Strategie zur Erhöhung der Effizienz in dieser Situation war die Erhöhung der Telegrafiergeschwindigkeit.

Bis zur späten Mitte der zwanziger Jahre war die Telegrafiergeschwindigkeit Gegenstand der Überlegungen sowohl in der Gleichstrom- als auch in der Wechselstromtelegrafie:

In ersterer der Zusammenhang zwischen übertragener Wort- und Impulszahl pro Zeiteinheit, in letzterer zusätzlich der Zusammenhang zwischen Bandbreite und möglicher Signalgeschwindigkeit.

---

[187] Feyerabend (1929) berichtet ausführlich über die wirtschaftlich wesentlich gesünderen Telegrafendienste in den USA: 1926 beförderte die Western Union in den USA dreimal mehr Telegramme als die Deutsche Reichspost, die Tendenz war steigend (noch!) und die Telegrafengesellschaft bedurfte keines Zuschusses, sondern warf vielmehr 8% Dividende ab (155 f.) Neben der anderen Organisationsform ist aber vor allem der Grund für diesen andern Verlauf, daß die Telegrafie noch lange den Bereich des Geschäftsverkehrs über lange Strecken gegenüber dem Telefon behauptete, der im einheitlichen Wirtschaftsraum der USA eine viel größere Bedeutung hatte, als im inneren Verkehr europäischer Staaten (vgl. Handbuch; 1929:470).

[188] Feyerabend (1929:155).

[189] Weltfernsprechstatistik 1932 und 1939 in EFD; 1936:181 ff., EFD; 1942: 64 ff.

[190] Eine britische Untersuchung aus dem Jahre 1935 zeigte, welche Bereiche des Nachrichtenverkehrs der Telegrafie vorbehalten blieben (in EFD 42; 1936:43):
Von den ausgewerteten 605.000 Telegrammen eines zusammenhängenden Zeitraumes waren 2/3 Geschäftstelegramme, 1/3 privat, »von den Geschäftstelegrammen entfiel die größte Teilzahl (8,9%) auf Telegramme von Fischhändlern, wie überhaupt dem Verkehr mit leichtverderblichen Waren, der im ganzen 12% aller Telegramme umfaßte, eine überwiegende Bedeutung zukommt.« Rechnet man noch die Börsentelegramme (6,5%) hinzu, so waren fast 20% aller Telegramme solche, bei denen es auf schnelle Nachrichtenübermittlung, d. h. Herstellung einer Verbindung ankam, denn die Geschwindigkeit war festgelegt und die Fernschreiber dominierten die Telegrafie.

Mit der systematischen Untersuchung dieser Probleme begann die Bildung erster Nachrichtentheorien in der Telegrafie.

Mit Hilfe (Verbilligung der Kanäle) und Konkurrenz (Übernahme von Verkehrsanteilen) durch die Telefonie traten neue Effizienzbedingungen für die Telegrafie in den Vordergrund. Vereinheitlichung der Systeme und ihre Vernetzung war seit Ende der 20'er Jahre das technische Ziel. Die alte Strategie der Erhöhung der Telegrafiergeschwindigkeit verlor ihre Bedeutung für den größten Teil der Telegrafie.

2.2.2.1 WECHSELSTROMTELEGRAFIE

Schon lange waren in der Telegrafie zwei prinzipielle Methoden untersucht worden, die Übertragung auf den teuren Leitungen effizienter zu gestalten: das Zeitmultiplex (»Vielfach-« oder »Verteilertelegraphie«) und das Frequenzmultiplex (»Wechselstromtelegraphie«). Beim ersten Verfahren wird die Übertragungsstrecke mittels synchron laufender Verteiler in Sender und Empfänger jeweils mit einem Sender-Empfänger-Paar für eine kurze Zeit verbunden, um danach einem anderen Sender-Empfänger-Paar als Verbindungsstrecke zu dienen. Mit dieser Methode werden die Nachrichten in zeitlich unterteilten Portionen gesendet. Prototyp dieses Verfahrens ist der Baudot-Apparat.[191]

Wechselstrom unterschiedlicher Frequenz für die Telegrafie unterschiedlicher Nachrichten zu benutzen, war eine alte Idee.[192] Der harmonische Telegraf Elisha Grays wie auch das Bellsche Telefon gehen auf solche Überlegungen zurück.[193]

Die praktische Nutzung der Wechselstromtelegrafie (WT) brachte jedoch erst die »Tonfrequenztelegrafie«, bei der Wechselströme der *Sprechfrequenzen* verwendet wurden, um so problemlos die Fernsprechleitungen nutzen zu können. Die entscheidende Voraussetzung für dieses Verfahren bildete der »Wellenfilter« (1915)[194], mit dessen Hilfe verschiedene Frequenzanteile einer Schwingung voneinander isoliert werden konnten und die Übertragungsstrecke so in verschiedene »Frequenzbänder« zerlegbar wurde.

Anfang der zwanziger Jahre begannen die ersten technischen Versuche mit diesem Verfahren.[195]

Für die Telegrafie bedeutete diese Entwicklung, daß sich für sie in den Fernsprechverbindungen »Effizienz-Nischen« in von der Telefonie nicht genutzten Frequenzbereichen auftaten als *»Unterlagerungstelegrafie«* (UT) im Frequenzband von 0-150 Hertz, das für die Sprachübertragung keine große Rolle spielte oder als *Tonfrequenztelegrafie,* von der 18 Kanäle auf einen Fernsprechkanal gingen[196], zu *Zeiten,* wo dieser für die Telefonie nicht genutzt wurde.

---

[191] Vergl. D. Murray (1927:1014). Über den Baudot-Apparat Näheres in Handbuch I (1929:95 ff.).
[192] Vergl. dazu Handbuch II (1929:809).
[193] Rose (1938:245) und Murray (1927:1014).
[194] Aus einer theoretischen Verallgemeinerung der Idee der Pupinisierung von Fernsprechleitungen – d. h. der Erhöhung der Leitungsinduktivität durch Zwischenschaltung von Spulen (»Induktivitäten«) zum Zwecke der Senkung der Dämpfung – entwikkelten K. W. Wagner und G. Campbell unabhängig voneinander den Gedanken, daß die in den pupinisierten Leitungen auftretenden Dämpfungen bestimmter Frequenzbereiche auch mit Hilfe von Ersatzschaltungen zu erreichen wären und so als »Wellenfilter« (»Wellensieb«, »Kettenleiter«, »wave filter«) nutzbar gemacht werden könnten.
Campbell, U.S. Pat.: 1 227 113/114 (1915) und Wagner, »Die Theorie des Kettenleiters nebst Anwendungen« in Arch. Elektrot. 3; 1915:315.
[195] 1924 wurde in Deutschland die erste Wechselstromtelegrafenverbindung zwischen Berlin und Frankfurt (M) in Betrieb genommen, 1927 die erste Unterlagerungstelegrafenstrecke (Sautter; 1951:222); 1923 war in den USA die erste WT-Strecke von der AT&T zwischen New York und Pittsburgh eingerichtet worden. (Fagen; 1976:773)
Die klassische theoretische Arbeit dazu ist Lüschen (1923).
[196] Küpfmüller, Storch (1939:2).

Die Kosten für Telegrafenverbindungen verringerten sich damit radikal. Tabelle 7 gibt den Kupferbedarf für einen Telegrafenkanal pro Kilometer an und zeigt, wie sich dieser durch die neue Technik verringerte. In einer Zeit, in der die Telegrafie unabhängig von dieser Entwicklung sich zudem dem Ende der Lebensdauer der großen, in den 70er und 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts verlegten nationalen Telegrafenkabelnetze gegenübersah, wurde diese Technik mit vermehrter Intensität entwikkelt. So hieß es 1925 in einem Bericht über F+E im Telegrafentechnischen Reichsamt der DRP:

> »Im Laufe der letzten Jahre versagte das in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts verlegte innerdeutsche Guttapercha-Telegraphenkabelnetz immer mehr, so daß man sich gezwungen sah, an die Schaffung eines neuen deutschen Telegraphenkabelnetzes zu denken. Eingehende Erwägungen führten dazu, das für den Fernsprechverkehr ausgebaute Fernkabelnetz auch für die Telegraphie zu benutzen. Voraussetzung hierfür ist aber eine Telegraphierweise, welche den gleichzeitig in dem Kabel sich abwickelnden Fernsprechverkehr nicht stört. Man entwikkelte deshalb eine Trägerstromtelegraphie, bei welcher Frequenz und Stärke der Trägerströme den Fernsprechströmen entsprechen.« (TRA-Bericht, 1925:250)

TABELLE 7: Kupferaufwand für eine Telegrafenverbindung von 1 km Länge
1880 – 1937 (Q: Küpfmüller, Storch;1939:6)

Baujahr	Kabel	Kupferaufwand (kg/km)
1880	Guttapercha Telegr.kabel	21,4
1923	Telegrafenverb.-6fach WT	2,4
1934	Telegrafenverb.-18fach WT	0,8
1937	Fernschreibverb.-18fach WT	0,18

Die Leitungskilometer der Telegrafie nahmen daher in Deutschland immer weiter ab, von ihrem höchsten Stand im Jahr 1922 von 918.128 km auf 419.571 km im Jahr 1930 um mehr als 50%.[197]

Vom Bau neuer Telegrafenlinien ganz zu schweigen, war die neue Technik selbst billiger als die Nutzung alter, selbständiger Telegrafenlinien[198], da sie von der finanziell viel stärkeren Telefonie mitgetragen wurde. Es war mit anderen Worten,

> »jede nicht für die Unterlagerungstelegraphie benutzte Fernkabelleitung gleichbedeutend... mit einem entgangenen Gewinn« (Höpfner; 1928/29:235).

Für die Telegrafie sprach man von einer »Wandlung zum Fernsprechmäßigen hin« (Lehner; 1940:136), davon,

> »daß die besonderen Telegraphennetze überall aufgesaugt werden«. (Küpfmüller; Ebeling; 1932:1)

Über diese Entwicklungsrichtung der Telegrafie herrscht in der zeitgenössischen Literatur Einigkeit.[199]

In den meisten Ländern, in denen Telegrafie und Telefonie gemeinsam staatlichen Verwaltungen unterstanden, war die Zusammenlegung der Techniken auch institutionell eine Selbstverständlichkeit.[200]

---

[197] Everwin (1937:21).
[198] Wie z. B. im Fall der alten deutschen Guttapercha-Telegrafenkabelnetze, die wegen ihres Alters und chemischer und mechanischer Beschädigungen sogar die Verwendung eines speziellen Telegrafencodes verlangten, der mit anderen üblichen Codes nicht kompatibel war. (Handbuch 1; 1929: 508) Noch deutlicher war es bei den alten, teuren Unterseekabeln, wo sich mit der alten Kabeltechnik auch die alten Effizienzforderungen erhielten (Hering, Stock; 1938:315).
[199] So z. B. Strecker (1939:221), Küpfmüller (1939:4) Von der »Telegraphie am Scheidewege« nach 1918 spricht Sautter (1951:222).
[200] Ein Problem, das in einheitlichen Verwaltungen damit entstand, war die Trennung der Kosten für Telegrafie und Telefonie, z. B. bei der Deutschen Reichspost (Ohnesorge; 1941/42:25).

In den USA arbeitete die ATT (Telefonverwaltung) mit der WUN (Telegrafengesellschaft) in dieser Hinsicht ab Ende der zwanziger Jahre eng zusammen.[201]

1932 war es für den Präsidenten der Bell Telephone Laboratories klar,

> »that the successful solution of a telephone problem carries with it in general essentially the basic solution of telegraph problems under corresponding conditions« (Jewett; 1932:126)

Bevor man jedoch um 1923/24 mit der praktischen Nutzung der Wechselstromtelegraphie beginnen konnte, hatte man sich theoretisch und bezüglich seiner praktischen Entscheidungen in einer zunächst sehr wenig absehbaren Entwicklung zurechtzufinden. Viele Unternehmen boten viele verschiedene Systeme an, und großes Wachstum verlangte weittragende grundlegende Entscheidungen.[202] Um so wichtiger waren zu dieser Zeit vor der praktischen Einführung der Wechselstromtelegrafie theoretische Untersuchungen, die ihre Prinzipien klärten.[203]

Die elektrischen Eigenschaften der Übertragungsstrecken mußten nun in Abhängigkeit von der Lage und Breite des übertragenen Frequenzbandes neu bestimmt werden, was immense empirische Arbeit (Serien von Tests) verlangte.[204]

Für die »Theoretische Telegraphie« hieß das, daß ein großer Teil mit Hinblick auf diese neue Technik revidiert werden mußte. Dieser Wechsel zeigt sich beispielsweise im Vorwort zur zweiten Auflage (1924) des 1910 in erster Auflage erschienenen deutschen Standardwerkes, der »Theoretischen Telegraphie« von F. Breisig, wo dieser bemerkt, daß es notwendig war,

> »den Wellencharakter der Vorgänge in den Leitungen mehr als früher hervorzuheben. Es ergab sich hieraus eine fast vollständige Umarbeitung der auf die Eigenschaften der Leitungen bezüglichen Teile.« (Breisig; 1924:v)

Wie auch für die Behandlung der Probleme der Telefonie trat nun auch für die Telegrafie der Begriff der Frequenz in den Vordergrund. Ebenso wurde auch die auf der Maxwellschen Elektrodynamik basierende Heavisidesche Leitungstheorie die entscheidende theoretische Grundlage der WT und löste darin die alte Kelvinsche Leitungstheorie ab. Diese hatte auf einer Analogie mit der Wärmeausbreitung in langen Stäben beruhend für die klassische Telegrafie über Seekabel hinreichende Problemlösungen gebracht.[205] In der Schreibweise der elektrischen Leitungseigenschaften ging man im Zuge

---

[201] 1928 nahm die ATT mit den Telegraphengesellschaften Postal und Western Union (WUN) Kontakte auf, die »should ultimately result in eliminating to a large extent the duplication of parallel pole lines and wire circuits, since by the use of proper apparatus it is possible to telephone and telegraph simultaneously over telephone toll and long distance wires.« (AT&T; 1928:10). In Fagen (1976:733) wird die doppelte Nutzung der Drähte als »guiding principle« der Ingenieure und Wissenschaftler des Bell Systems der Zeit bezeichnet. Genau dies war auch das Problem, an dessen Lösung Nyquist am Anfang der zwanziger Jahre im ATT D&R Department eingesetzt war (Nyquist; 23.10.1962:14).

[202] Fagen (1976:745).

[203] Ab 1917 hatte sich Nyquist auf diese Probleme konzentriert (Nyquist; 23.10.1962:14).

[204] Wie z. B. zur Abhängigkeit der Telegrafiergeschwindigkeit von Spannung, Leitungseigenschaften, Bandbreite, Position der Trägerfrequenz im Band oder zur gegenseitigen Beeinflussung von Telegrafie und Telefonie. In Strecker (JBET; 1921:152) werden etliche Beispiele solcher Arbeiten genannt.

[205] Aufbauend auf einer Arbeit Fouriers aus dem Jahr 1922 über die Wärmeausbreitung in einem langen Stab veröffentlichte W. Thomson (Lord Kelvin) 1856 eine Untersuchung, in der er den Spannungsverlauf am Ende einer Leitung als abhängig von Länge, Kapazität, Widerstand der Leitung und der angelegten Spannung beschrieb, daß sogenannte CR-Gesetz, dessen Präzisierung für viele Spezialfälle die Theorie bis in dieses Jahrhundert hinein beschäftigte. (vgl. z. B. Küpfmüller; 1931:2)
Der Übergang von der Leitungstheorie der klassischen Telegrafie zu der der Telefonie ist untrennbar mit den Arbeiten Heavisides verbunden. Er stellte einen der wenigen *dramatischen* Änderungen der Theorie in der Nachrichtentechnik dar. Das Schicksal Heavisides, der mit seinen Arbeiten gegen das vereinte Expertenwissen des kgl.brit.Post Office stand, verdiente ausführliche Behandlung.
Vergl. dazu TFT, Heaviside-Sonderheft 1925, 11
H. Schulz, »Oliver Heaviside«, in TFT; 1925, 4:116 und
J. Carson, »The Great Practical Value of Heavisides Mathematical Researches« in Electrical World, 85; 7.3.1925, 10:513.

dieser Entwicklung – die wie gesagt von der Telefonie ausgegangen war – Kenelly folgend von der eindimensionalen zur zweidimensionalen komplexen Schreibweise über.[206]

In doppelter Hinsicht trug damit die *Telefonie* dazu bei, daß sich die Probleme in der Telegrafie reduzierten – und damit auch die theoretischen Probleme: sie *reduzierte den Verkehr* beträchtlich[207] und schuf – nachdem die WT einsetzbar war – *verbilligte Kanäle* für die Telegrafie.

Im Hinblick auf die Theorienbildung liefen beide Einflüsse auf dasselbe hinaus, nämlich die Abnahme des Verkehrs pro Kanal, d. h. die Abnahme der Fehler, Stockungen des Verkehrs, Verzögerungen etc. Die Zahl der Systemversager im Tonfrequenztelegrafenverkehr innerhalb des Bell Systems in den USA auf 150 Meilen Kabel nahm von 33 im Jahr 1929 auf 2 im Jahr 1940 ab.[208] Daß dies keine durch das Wachstum der Kanallänge insgesamt erzielte scheinbare Verbesserung, sondern eine *reale* war, mit realen Auswirkungen auf die Notwendigkeit weiterer theoretischer Arbeit, geht aus den im Anhang wiedergegebenen Briefen von Nyquist und Shanck aus dem Jahr 1934 hervor.

Wo keine Probleme entstanden, sei es, daß sie theoretisch gelöst waren, sei es auch, daß die mit ihnen verbundene Technik ausrangiert wurde – wie die klassische Telegrafie – waren weitere theoretische Untersuchungen eben »somewhat of a luxury« (Nyquist – siehe Anhang II).

Diese beiden entscheidenden Einflüsse der Telefonie auf die Telegrafie zwischen den Weltkriegen brachten die *Notwendigkeit* und die technische *Möglichkeit* für die Telegrafie eine *völlig neuartige Technik* aufzubauen. Anfang der dreißiger Jahre sah man die einzige Chance für die Rettung der Lebensfähigkeit der Telegrafie in der größeren internationalen Einheitlichkeit der Systeme,[209] d. h. – dem Beispiel der Telegraphie folgend der Vernetzung der Telegrafenverbindungen zu Fernschreibnetzen.

2.2.2.2 FERNSCHREIBTECHNIK

Mit dem Aufbau eines Fernschreibsystems übernahm die Telegrafie von der Telefonie das Prinzip der möglichst von jedermann benutzbaren Endgeräte.[210] Mit Hilfe der Vermittlungstechnik waren diese dann, dem Beispiel weiter folgend, in späteren Schritten beliebig untereinander zu verbinden[211], denn sie beruhten auf dem »start-stop« Prinzip, das eine weitaus größere Toleranz gegenüber Gleichlaufverzerrungen zwischen Sender und Empfänger erlaubte und so die Vernetzung erleichterte.[212]

Daher hatte die Telegrafie Ende der dreißiger Jahre vieles von ihren Verlusten wieder aufgeholt.[213]

Man sprach von der »sprunghaften Wiederbelebung der Telegraphie« (Reche; 1937:124), von »Abstieg und neuem Aufsteig in der Telegraphie« (Kalden; 1938:203) oder von »Une ère nouvelle en télégraphie« (R.G.Clarke; 1938:146). Zu dieser Zeit *stieg* die Zahl der Telegramme allenthalben wieder, in Deutschland von 19,3 Millionen 1934 auf 34,1 Millionen 1940 oder in Großbritannien von 33 Millionen 1934 auf 54 Millionen 1941.[214] Ebenso stieg der Anteil der Fernschreibverbindungen an der Gesamtlänge der von der AT&T betriebenen Telegrafenverbindungen für private Teilnehmer von 2%

---

[206] A. Kennelly, »Impedance« in Trans.AIEE 10;1893:175
Während Spannungen im Gleichstrom-Fall Skalare sind, die einfach addiert werden können, sind sie beim Wechselstrom Vektoren, d. h. richtungsabhängig. Diese Darstellung als Vektoren erfolgt in der Ebene der komplexen Zahlen, was den Vorteil der DarstelIung als Exponentialtunktion nach dem Eulerschen Satz bietet.

[207] Everwin (1937:69) gibt als weiteren Grund für die Abnahme des Telegrammverkehrs »die außerordentliche Beschleunigung des Briefverkehrs durch Einführung der Flugpostbeförderung« an.

[208] Duncan, Parker, Pierce (1944:1033 f.).

[209] Küpfmüller, Ebeling (1932:1).

[210] So z. B. in Handbuch II (1929:662).

[211] Vgl. z. B. Storch (1937:151).

[212] Vergl. Handbuch II (1929:526).

[213] Strecker (1939:221).

[214] Für Deutschland: Sautter (1951:602), für Großbritannien: POEEJ (1956:163) (aus einer Kurve entnommen).

(1920) über 50% (1932) auf 75% im Jahr 1940215, und in Großbritannien wuchs der Anteil der Fernschreiber an der Übermittlung von Telegrammen von 16,1% (1929) auf 72,3% im Jahr 1933[216] – d. h. 3/4 aller in Großbritannien übermittelten Telegramme wurden bereits 1933 mit Fernschreibern durchgegeben. Die internationalen Veröffentlichungen zur Telegrafie galten fast ausschließlich dem Thema Fernschreibtechnik.[217] 1938 waren in Deutschland an das Fernschreib*netz* 350 Teilnehmerstellen angeschlossen.[218]

Mit dem Wachstum der äußeren Bedeutung der Fernschreibtechnik auf den Sprechfrequenzkanälen der Telefonie oder als Unterlagerungstelegrafie veränderte sich auch die theoretische Beschreibungsweise der Fernschreibübertragungstechnik, entfernte sich von der klassischen Telegrafie[219] und bediente sich der Begriffe der Telefonie.

Nach den Worten eines der wichtigsten deutschen Theoretiker des Gebietes, F. Strecker, erwies es sich Ende der dreißiger Jahre

> »als zweckmäßig, für die weitere Betrachtung der *Fernschreibübertragung* auch die Begriffe der Frequenzbandbreite und der Seitenbänder einzuführen und *nicht die Vorgänge des unregelmäßigen Ein- und Ausschaltens* einer Gleichspannung oder Trägerfrequenz unmittelbar zu betrachten.« (Strecker; 1939:221)

Deutlichstes äußeres Zeichen für die nun auch theoretische Abkehr von der klassischen Telegrafie und der in ihr angebrachten Darstellung von Signalen als Zeitfunktionen war das Ende der *Zeit* als einer Variablen in der Telegrafenübertragung – war die Festlegung der Telegrafiergeschwindigkeit im Jahr 1929 auf 50 Baud[220]in Europa, 47 Baud in den USA[221], um den Aufbau internationaler Verbindungen zu ermöglichen.[222]

Die Tatsache, daß etwa mit dem Ende der zwanziger Jahre die Telegrafiergeschwindigkeit aufgehört hatte, das entscheidende Leistungskriterium einer Telegrafenverbindung zu sein, war von tiefgehendem Einfluß auf die weitere Theorienbildung. An ihre Stelle traten danach Zuverlässigkeit und Störfreiheit als Qualitätskriterien einer Fernschreibverbindung fester Geschwindigkeit.[223]

---

[215] Duncan, Parker, Pierce (1944:1033 f.).

[216] Im einzelnen waren es die folgenden Techniken, die für die Übermittlung von Telegrammen in GB zwischen 1929 und 1933 benutzt wurden:

Jahr	Apparate				
	Mehrfachapp. (Zeitmultipl.)	Fernschreiber	Morse	Fernsprecher	andere Apparate
1929	37,7%	16,1%	28,4%	13,5%	4,3%
1932	4,6%	69,5%	9,0%	15,0%	1,9%
1933	1,3%	72,3%	3,5%	21,3%	1,6%

Q.: Bradley, »The Passing of Morse« in Telegr.Teleph.J.20; 1933,225:50

Am auffälligsten ist der schlagartige Rückgang der Benutzung der in der ersten Spalte angeführten Hochleistungsapparate – wobei in der Zeit der Weltwirtschaftskrise deren hoher Personalaufwand sicher eine Rolle gespielt hat. Der übergang zu Telefon und Fernschreiber für die Telegrammübermittlung wurde dadurch mit Sicherheit beschleunigt.

[217] So Buttler (1940/41:84) in seiner Literaturübersicht. Zu dieser Zeit begann sich auch bereits die besondere Rolle bemerkbar zu machen, die Fernschreibverbindungen im elektrischen Nachrichtenwesen des Zweiten Weltkrieges spielten. Vgl. dazu Abschnitt III.2.

[218] Schr.sch.RPF 15; 1938, 5:56. Storch (1937:178 ff.) zeigt, wie die Entwicklung von Fernschreibnetzen mit der Entwicklung der Organisation anderer Systeme, wie Bahn, Polizei, Flugsicherung, Banken, Industrie etc. einherging.

[219] In der dritten Auflage seiner 1931 erstmals erschienenen »Theorie der Schwachstromtechnik« zog Wallot noch die zeitliche Schreibweise vor: *»Die Telegraphie muß von einer Theorie der Ein- und Ausschaltvorgänge ausgehen.«* (Wallot; 1943:92).

[220] Das sind 50 Impulse eines Zweierschritt-Codes pro Sekunde.

[221] Wallot (1943:96) vergl. auch Bornemann (1952), Küpfmüller (1939:5) 37 vergl. Handbuch II (1929:651).

[222] In großem Rahmen bildeten die unterschiedlichen Geschwindigkeiten noch 1952 ein Hindernis für die *globale* Ausweitung des Fernschreibverkehrs. (Bornemann; 1952:131)

[223] Sieht man einmal von besonderen Anwendungssituationen, wie etwa dem Bankverkehr ab, wo die Geschwindigkeit alle anderen Anforderungen dominierte.

2.2.2.3 TELEGRAFIERGESCHWINDIGKEIT

Lange Zeit war die Telegrafiergeschwindigkeit das Hauptkriterium der Leistung eines Telegrafensystems. Höhere Telegrafiergeschwindigkeit stellte das wichtigste Mittel dar, durch bessere Ausnutzung der Leitungen deren Verbilligung zu erreichen.[224] Jedoch:

> »Mit der Mehrfachausnutzung der Leitungen durch Wechselstrom- und Unterlagerungstelegrafie ergab sich ... eine erhebliche Verbilligung der Telegrafierkanäle und es konnte ... die Forderung nach möglichst hoher Telegrafiergeschwindigkeit zurücktreten.« (Küpfmüller; 1939:4 f.)

Damit errang die Forderung nach einfachen sicheren internationalen Verbindungen direkt zwischen den Teilnehmern größere Bedeutung – und die Telegrafiergeschwindigkeit wurde festgelegt. Die Entwicklungsrichtung der Leistungsanforderungen an die verschiedenen Telegrafiersysteme läßt sich gut aus Tabelle 8 ablesen. Personal- und finanzieller Aufwand für verschiedene Systeme, deren Leistung in Wörtern pro Stunde (Telegrafiergeschwindigkeit) und der Zeitpunkt von deren Einführung in den Betrieb sind darin zusammengestellt.

TABELLE 8: Kosten und Leistungen verschiedener Telegrafiersysteme (Q.: Murray (1927) und Handbuch (1929))

Apparattyp	Betriebsbeginn	Beamte pro System	Wörter/Std.	Wörter je Beamtenstd.	Kosten (Mark)
Morse	1844	2	500	250	640
Hughes	1855	3	1200	400	3500
Baudot	1874	12	5000	420	21200
Wheatstone	um 1890	10	3500	350	10800
Siemens-Schnelltelegraph	1912	7	7200	1030	33000
Fernschreiber	um 1920	2	2400	1200	2600

Diese Tabelle zeigt anschaulich die Verschiebung des Effizienzbereiches für die Telegrafie. Seit Mitte des vorigen Jahrhunderts führte man vor allem deshalb neue Systeme ein, um höhere absolute Stundenleistungen der Telegrafiergeschwindigkeit zu erreichen – egal wie hoch die Kosten wurden, ob nun durch die Zahl der Beamten oder die direkten Kosten der Apparate. Der Fernschreiber, der wie oben gezeigt, die Telegrafie in den dreißiger Jahren dominierte, bildete eine deutliche Umkehr dieses Trends: *Reduzierung der Kosten* (ein Aspekt der allgemeineren Zugänglichkeit), *Reduzierung des notwendigen Personals* und auch *Reduzierung der absoluten Telegrafiergeschwindigkeit.*

Bereits lange war es klar gewesen, daß die Telegrafiergeschwindigkeit entscheidend von den Eigenschaften der Übertragungsleitung abhing, sowie vom verwendeten Telegrafiersystem. In der Anzahl der übermittelten Telegramme ließ sich ein erster einfacher Begriff der Telegrafiergeschwindigkeit sofort finden, dessen genaue Bestimmung war jedoch ein wesentlicher Bestandteil der Telegrafentheorie.

---

[224] Vergl . z. B. Küpfmüller (1939:4). Zu Zeiten der klassischen Telegrafie, als die Telegrafiergeschwindigkeit entscheidendes Leistungskriterium von Telegrafensystemen war, errang die Arbeit der Telegraphisten die Stellung eines Leistungssportes, dessen hervorrangendste Vertreter auf internationalen »Telegraphistenwettstreiten« ermittelt wurden. Vier dieser Wettbewerbe fanden statt: 1899: Como – 1911: Turin – 1922: Berlin und der letzte 1927 in Como (1929 einigte man sich im CCIT auf eine feste Telegrafiergeschwindigkeit!). Am letzten nahmen 12 Länder mit 297 Telegraphisten teil, gemessen wurde die Übermittlungsgeschwindigkeit auf verschiedenen Systemen und die Fehlerzahl Auf dem 3. Treffen, 1922 in Berlin, wurden beispielsweise mit dem Siemens-Schnelltelegrafen Leistungen von 400 Zeichen/Min. erzielt. Maximal erlaubte das System bis zu 1000 Zeichen/Min., d. h. 83 Baud. (vergl . Handbuch II; 1929: 652 und 497, sowie »Der 3. Internationale Telegraphistenwettstreit«, Berlin; 1923).

In den Zeiten der Gleichstromtelegrafie war das die Telegrafiergeschwindigkeit *begrenzende* Übertragungsphänomen die *Intersymbolinterferenz,* d. h. das Verschwimmen der für die elektrischen Eigenschaften der betreffenden Leitung zu schnell aufeinanderfolgenden Impulse ineinander.

Sollten die Impulse für den Empfänger noch erkennbar, d. h. unterscheidbar voneinander sein, so war auf der betreffenden Leitung nur eine ganz bestimmte Impulsfolgegeschwindigkeit zulässig.

Ziel der Überlegungen in der klassischen Telegrafie war es daher, aus der für sicheren Empfang noch *zulässigen Intersymbolinterferenz* (Überlappung) dieser Impulse die für dieses System *zulässige höchste Impulsfolgegeschwindigkeit* zu bestimmen.[225]

Als Normsystem für die Beurteilung der Telegrafiergeschwindigkeit wurde das Baudot-System verwendet, das mit zwei verschiedenen Stromwerten arbeitete, die in 5'er Folgen gruppiert waren. Ein »Baud« war danach die Übertragung eines solchen Stromwertes und der anschließenden Zeichenpause pro Sekunde.

Mit diesem Maßstab ließen sich allerdings nicht restlos alle Telegrafiersysteme beurteilen, das Hughes-System, bei dem es nicht auf die *Anzahl* von Impulsen, sondern auf deren Abstand voneinander ankam, bildete die Ausnahme. Noch 1936 war unklar, einer Geschwindigkeit von wieviel Baud die Leistungen der Hughes-Apparate entsprachen.[226]

Ein Spezifikum der Technik jedoch ist es, daß theoretische Probleme auch auf andere Weise, als durch ihre *theoretische* Lösung verschwinden können. Das hinsichtlich der genauen Messung seine Leistung zu jener Zeit widerspenstige Hughes-System verlor im Zuge der oben geschilderten technischen Entwicklung an Bedeutung und die Frage wurde mehr oder weniger gegenstandslos.

Es gab jedoch noch eine näherliegende Möglichkeit, die Telegrafiergeschwindigkeit eines Systems *insgesamt* zu messen, die alle internen Eigenschaften wie Apparate/Betriebsweise/Leitungsalphabet etc. beiseite ließ und vom Standpunkt des tatsächlichen Betriebes einer Telegrafenstrecke ausging. Dabei wurde einfach die Zahl der Worte oder Buchstaben ermittelt, die das System in der Zeiteinheit übermitteln konnte.

Diese Ebene der Beurteilung der Eigenschaften eines Telegrafensystems sei im folgenden als *Nachrichtenebene,* die der Übertragungstechnik als *Signalebene* bezeichnet. *Wesentliche Bestandteile der Anfänge einer Nachrichtentheorie in der Telegrafie entstanden aus der Notwendigkeit, die Abhängigkeit der Telegrafiergeschwindigkeiten beider Ebenen voneinander zu ermitteln.*

In zeitgenössischer Theorie unterschied man zwischen *»Telegraphierfreguenz«* (Impulsfolge) und *»Telegraphiergeschwindigkeit«* (Zeichenfolge).[227] Deren Beziehung erhielt man nach »Erfahrungsregeln« (Handbuch II;1929:651) als den praktisch notwendigen Bandbreitenaufwand in der Wechselstromtelegrafie der gleich dem 1,5 bis 1,6fachen der Telegrafierfrequenz war. Dies ist ein Zeichen dafür, daß aus Nyquists Arbeit (1924), auf die dabei Bezug genommen wurde, der *theoretisch klare* Zusammenhang zwischen *Bandbreite* und *Signalgeschwindigkeit* noch nicht deutlich hervorging, den er (1928) dann eindeutiger formulierte.

Auch in der Telefonie (und allen anderen nachrichtentechnischen Systemen) gab es unterschiedliche Leistungskriterien für die Übertragungseigenschaften und die Betriebsqualität und Leistung des *Sy-*

---

[225] So Hartley (1921:5). In der Zeit der klassischen Telegrafie hatte man, solange noch keine genaue Kenntnis der Zusammenhänge bestand, die Geschwindigkeit einer Telegrafenverbindung stets jeden Morgen neu einrichten müssen durch Sendung genormter Signale (Sautter; 1951: 222).
[226] Wüsteney (1936:339).
[227] Vergl. Handbuch II (1929:651).

stems als ganzem, wie es sich dem Benutzer darbot. Deren Zusammenhang war auch dort entscheidender Gegenstand verschiedener Theorien.[228]

Per definitionem waren natürlich alle *benutzbaren* Telegrafensysteme auf der *Nachrichtenebene* miteinander vergleichbar.

Obwohl mittelbar die Wechselstromtelegrafie zum Verschwinden des Leistungskriteriums »Telegrafiergeschwindigkeit« führte, komplizierte sie jedoch zunächst die Frage nach deren Bedingungen erheblich. Zunächst war die Frage nach der

> »relation between the quality of the signals and the bandwidth, and the location of the carrier in the band« (Hartley; 28.11.1922:4)[229]

zu untersuchen.

Entscheidendes theoretisches Hilfsmittel, Gleich- und Wechselstromtelegrafie einheitlich zu behandeln, war die Fourieranalyse[230], mit deren Hilfe man die

> »relations of frequency band and communication speed« (Mathes; 1922:2)[231] untersuchen konnte.

Technische Notwendigkeit und theoretische Hilfsmittel für generelle theoretische Untersuchungen der Abhängigkeit der Telegrafiergeschwindigkeit von der Frequenzbandbreite waren somit gegeben. Besonderen Anlaß, derartige Untersuchungen zu intensivieren, bildete die geplante Verlegung eines transatlantischen Telegrafenkabels Mitte der zwanziger Jahre.[232]

Im Gegensatz zu einer allgemeinen Theorie der Leitungsvorgänge war eine befriedigende Theorie des Telegrafenbetriebs erst noch zu entwickeln Anfang der zwanziger Jahre.

---

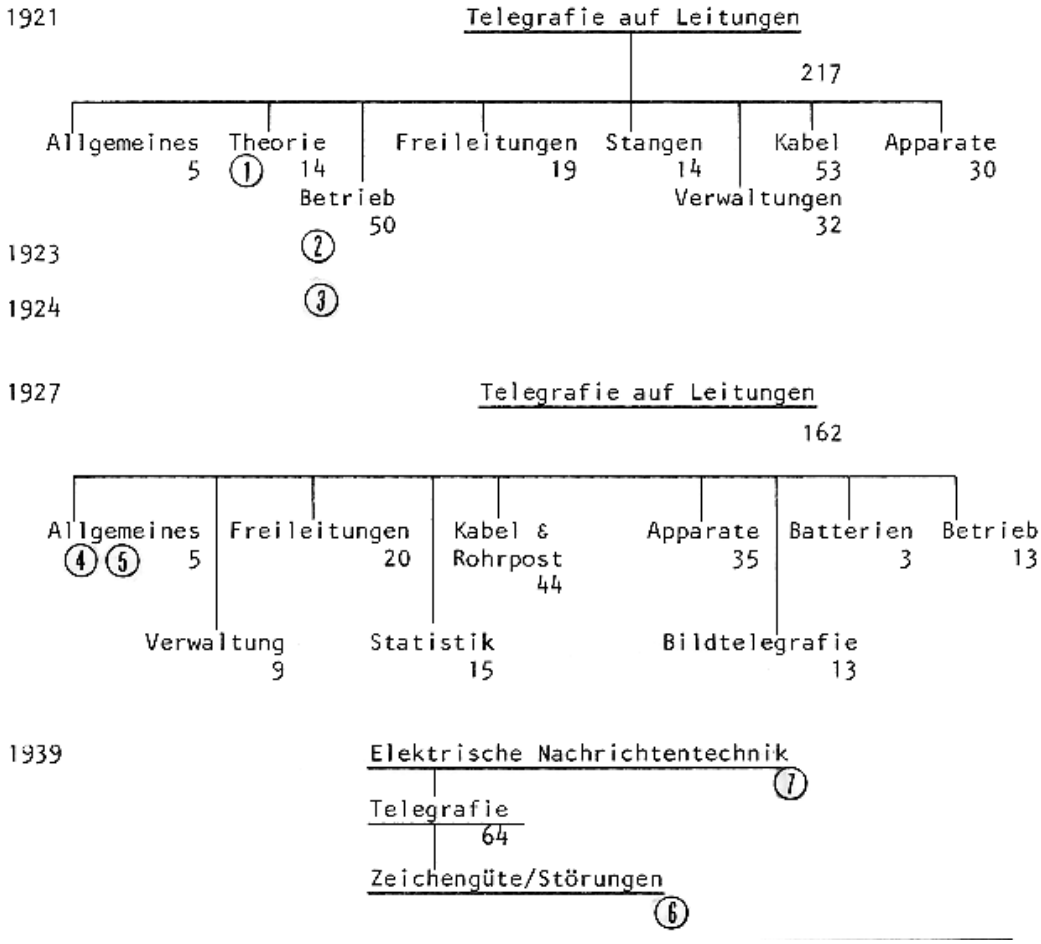
[228] Vergl. Abschnitt II.2.3.
[229] Hartley an H.D. Arnold; 28.11.1922 BAA, H.D. Arnold Cabinet, Drawer 2, Folder: Miscellaneous.
[230] Fourier-Analyse: Darstellung einer periodischen Zeitfunktion als Summe oder Integral von harmonischen (reinen Sinus- und Cosinus-)Funktionen.
[231] R.C. Mathes (1922:1) BAA, »Telegraph Studies«, Case 300, »Summary of work 1922«.
[232] »Untersuchungen über die Erhöhung der Telegraphiergeschwindigkeit sind in den letzten Jahren fortgesetzt worden als Vorarbeiten für die neue deutsch-amerikanische Kabelverbindung« (TRA-Bericht; 1925:250).

2.2.3 ENTWICKLUNG DES FACHGEBIETES

Die beste Ausgangsbasis für eine genauere Untersuchung der wissenschaftlichen Aktivitäten im Gebiet der Telegrafie zwischen den Weltkriegen ist die Menge der in jedem Jahr dazu publizierten Zeitschriftenartikel und die Veränderung ihrer inhaltlichen Zusammensetzung im Lauf der Zeit. Dies stellt insofern eine geeignetere Grundlage als die Reihe technischer Erstraten dar, als sie diese bereits reflektiert.[233]

Nahezu 3/4 der nachrichtentechnischen Publikationen in 1921[234] galt dem Feld der Telegrafie, etwas mehr als 1/4 der Telefonie. Hinzu kam »Theoretische Elektrotechnik« als Teil der »Elektrophysik« mit noch einmal halb soviel Arbeiten wie in der Telefonie. Größter Einzelbereich war die »Telegraphie auf fortlaufenden Leitungen« (Abb. 8) – *noch* – wie ein Vergleich mit der Aufteilung des Gesamtgebietes für 1927 zeigt.

ABBILDUNG 8: Die Publikationen zur Telegrafie, 1921, 1927, 1939
(Q.: JB Elektrotechnik, Ztschr.sch.RPF)



[233] Grundsätzlich wird in dieser Arbeit kein Wert auf eine Diskussion technischer Erstleistungen gelegt. Es kommt vielmehr darauf an, technische Trends und die Entwicklung der mit diesen verbundenen theoretischen Fragestellungen zu erkennen.
[234] Vergl. zur Methode der Auswertung Anhang III.

Rein wissenschaftlich/elektrotechnisch war nur ein Bruchteil dieser Arbeiten relevant, und zwar solche, die einen Teil der Bereiche »Theorie«, »Betrieb« und »theoretische Elektrotechnik« ausmachten. Die Nummern in der Abbildung 8 bezeichnen theoretische Arbeiten, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit eine Rolle spielen und geben deren Position in der zeitgenössischen Gesamtaktivität im Gegenstandsbereich ‚Telegrafie« an – so wie sie zu dieser Zeit gesehen wurde.[235]

> Unter (1) – 1921 und (2) – 1923 fallen verschiedene Arbeiten zu den Übertragungsbedingungen für hohe Telegrafiergeschwindigkeiten und Vergleiche verschiedener Systeme (3) – 1924 steht für die Nyquistsche Arbeit »Certain Factors Affecting Telegraph Speed« und (4) – 1927 steht für eine Arbeit über »Telegraph Measurement« von Nyquist, Shanck, Cory, in der sie klare Maße für die Verzerrungen in Telegrafieübertragungen vorschlagen; (5) – 1927 für eine andere Fassung von Nyquists »Certain Factors Affecting Telegraph Speed«; (6) – 1939 steht für die unten besprochene Strekkersche Arbeit »Fernsprechen, Fernsehen, Fernschreiben auf Leitungen« und (7) 1939 für Küpfmüller, Storch »Fernsprechen und Fernschreiben«. Eine Arbeit Küpfmüllers (1922), in der er zeigte, »daß der Frequenz proportionale Verluste verflachend auf die Telegrafierzeichen wirken«, stellte einen ersten Schritt zur Erkennung des exakten Verhältnisses zwischen Frequenzbandbreite und Signalgeschwindigkeit dar. Diese Arbeit, und die 1924 erschienene Arbeit »Über Einschwingvorgänge in Wellenfiltern« – später stets mit Nyquists Arbeit aus demselben Jahr zusammengenannt – wurden jedoch unter dem ganz anderen Aspekt der »Elektrophysik« eingeordnet.

Es zeigt sich dabei, daß die für diese Untersuchung interessanten theoretischen Arbeiten sich lediglich in einem Teil des Bereiches *»Allgemeines«* finden und in mehr empirisch-technischer Form unter *»Betrieb«* auftauchen, also von 1921 bis 1927 eine Diffusion von der technisch vergleichenden Ebene (»Betrieb«) auf die allgemein theoretische Ebene erlebten (»Allgemeines«). Für den Unterschied, wie auf beiden Ebenen der Begriff der *Telegrafiergeschwindigkeit* behandelt wird, mag man als bezeichnend ansehen, daß unter *»Betrieb«* 1927 u.a. über den 4. internationalen Telegraphistenwettstreit in Como berichtet wird, während unter *»Allgemeines«* eine erste Fassung der Nyquist'schen Telegraphentheorie besprochen wird.

Schließlich wird auch deutlich, daß von ihrem Gehalt her vergleichbare Arbeiten (wie die Küpfmüllers und Nyquists), der Lokalisierung ihrer Autoren in unterschiedlichen F+E-Kontexten folgend unter »Telegrafie« bzw. »Physik«-»Elektrotechnik« eingeordnet wurden.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß sich die Theorienbildung in der Telegrafie aus den Bereichen »Betrieb« und »Theoretische Elektrotechnik« (Anfang der zwanziger Jahre) in Richtung auf eine autonome »Allgemeine« Theorie der Telegrafie bewegte (Ende der zwanziger Jahre). Deutlicher als zu Beginn der zwanziger Jahre unterschieden sich jetzt, nachdem viele neue Abhängigkeiten empirisch und auf physikalisch-elektrotechnischer Ebene geklärt waren, die verschiedenen Ebenen der Theorienbildung.

Diese Loslösung der Theorienbildung und der Gesamtdiskussion in der Nachrichtentechnik generell von der Physik, läßt sich auch an einem anderen Index veranschaulichen: Waren 1920 noch 24% aller für die Streckersche Bibliographie der Elektrotechnik herangezogenen Zeitschriften allgemein naturwissenschaftliche und physikalische, so waren es 1927 lediglich noch 9%. Während sich die Absolutzahl der verwendeten allgemein naturwissenschaftlichen und physikalischen Zeitschriften von 1920 auf 1927 nicht ganz verdoppelte (von 14 auf 24), vervierfachte sich die Zahl der verwendeten elektrotechnischen Zeitschriften von 26 auf 101.

---

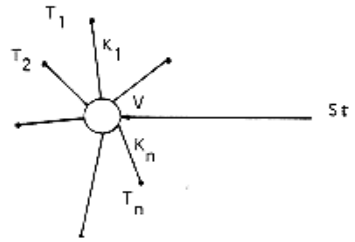
[235] Der Überblick folgt verschiedenen Ausgaben des Strecker'schen »Jahrbuch der Elektrotechnik«.

2.3 DIE TELEFONIE

VORBEMERKUNG

Ein einfaches Telefonsystem besteht aus einer Anzahl von Teilnehmern, T_1, ..., T_n, die mit einer zentralen Vermittlungsstelle V verbunden sind über die Kanäle K_1, ..., K_n. Mögliche Störungen können auf die Kanäle und die Vermittlungsstelle einwirken. Aufgabe eines solchen Systems ist es, einen Teilnehmer T_i, der der Vermittlungsstelle V die Adresse eines gewünschten zweiten Teilnehmers T_j signalisiert, mit diesem in möglichst kurzer Zeit in eine direkte (und möglichst gute) Sprechverbindung zu bringen. Abbildung 9 zeigt ein solches System.

ABBILDUNG 9: Ein einfaches Telefonsystem



$T_1,...,T_n$: Teilnehmer, $K_1,...,K_n$: Sprech-u. Signalkanäle

St: Störungen, V: Vermittlungsstelle

Eine solche Darstellung eines Telefonsystems war in der hier untersuchten Zeit in Netzplanung und Verkehrstheorie in Gebrauch, nicht aber für die Untersuchung von Übertragungsproblemen.

2.3.1 ENTWICKLUNG VON VERKEHR UND TECHNIK

War die Telegrafie einschließlich der mit ihr verbundenen theoretischen Probleme durch die Schrumpfung des Verkehrs und die Umstellung auf die Netztechnik des Fernschreibers gekennzeichnet, so war für die Telefonie und die mit ihr verbundenen Probleme das Wachstum in Dichte und Ausdehnung der Netze charakteristisch. 1925 waren die prinzipiellen technischen Probleme gelöst. Danach dominierten die Forderungen nach höherer Qualität und niedrigerem Aufwand die technische Entwicklung.

Wie bereits erwähnt, war die Telefonie die erste Nachrichtenübermittlungstechnik, die ein vollständiges Netz zwischen den unmittelbaren Benutzern ausbilden konnte. Dieses stellte ein einziges direkt zusammenhängendes riesiges Gerät dar[236], für das es keinerlei Beispiel gab[237] und das wohl noch heute die komplexeste künstlich geschaffene Einrichtung darstellt.[238]

---

[236] Diese Sicht des Telefonnetzes war recht häufig anzutreffen. Sie findet sich bei Bello (1958:14), bei Kelly (1950:289), bei Mills (1944:268) oder bei Jewett (1928:152), der von einem »single complex organism« spricht.

[237] Um einen anschaulichen Vergleich für die Ausmaße dieses Netzes zu geben: Mit 35 Millionen Telefonbüchern allein im Jahre 1929 dürfte die ATT wohl das Auflagenvolumen der größten Verlage übertroffen haben. (EFD 17; 1930/179, Jahresbericht der ATT von 1929).

[238] Siehe Anmerkung 256.

Nachdem durch die Verstärkertechnik[239] jede Entfernung prinzipiell überbrückbar, durch Einseitenbandmodulation[240] und Wellenfilter[241] die technischen Voraussetzungen für die *ökonomische* Einrichtung von Übertragungsstrecken gegeben waren[242] – durch Übertragung mehrerer Trägerstromsprechkanäle auf einer Strecke[243] (Wellenfilter) und Reduktion der zur Übertragung notwendigen Bandbreite um die Hälfte (Einseitenbandmodulation) – stand der räumlichen Ausdehnung des Fernsprechnetzes ebensowenig im Wege wie seiner Verdichtung durch die immer größere Zahl angeschlossener Telefone in den großen Städten.

In den USA stieg die Zahl der Sprechstellen zwischen 1920 und 1930 von 8,1 auf 15,2 Millionen – also fast das Doppelte – an und erreichte 1940 20,8 Millionen (vgl. Tab.1).

Die Zahl der Vermittlungsstellen vermehrte sich zwischen 1920 und 1930 um 14% von 5.800 auf 6.600 und war bis 1940 auf 7.000 angestiegen.

Die Zahl der täglichen Gespräche stieg von 33 Millionen im Jahr 1920 auf 64 Millionen (1930) und 79 Millionen (1940).[244] In Deutschland wurde auf niedrigerem absoluten Niveau fast dieselbe Wachstumsrate erzielt:

die Zahl der Sprechstellen vermehrte sich von 1,8 (1920) auf 3,3 (1930) und etwa 5 Millionen im Jahr 1940. Die Zahl der täglich geführten Gespräche ging allerdings von 7,8 Millionen (1920) auf 7 Millionen 1930 zurück, um bis 1940 wieder auf 8,9 Millionen anzusteigen.[245]

Das Wachstum der Anschlußzahlen in den großen Städten war ein Phänomen der zwanziger Jahre. Während in diesen die Zahl der Anschlüsse zwischen 1928 und 1939 annähernd konstant blieb (New York bei 1,7 Millionen, Chicago bei knapp unter einer Million, Berlin bei ca. 0,5 Millionen) wuchs sie in den mittleren Städten mit Einwohnerzahlen zwischen einer halben und einer Million – von 1932 insgesamt 1,2 auf 2,3 Millionen Anschlüsse 1939 in den USA.[246]

Eng verbunden mit dieser Verdichtung der Netze erst in den großen und dann in den mittleren Städten war der Übergang von manueller Vermittlung zu Selbstanschlußbetrieb.[247]

Im Jahre 1928 waren 21% der etwa 14 Millionen Telefonanschlüsse des Bell-Systems an Selbstwahlvermittlungen angeschlossen,[248] 1939 waren es 56%.[249] Die Zahl der Vermittlungsangestellten für

---

[239] 1906 wurde unabhängig von Lee de Forest und Robert von Lieben vorgeschlagen (Aschoff: 1961:467), die Elektronenröhre in einer Verstärkerschaltung zu nutzen. 1915 gab es mit der transkontinentalen Verbindung zwischen New York und San Francisco in den USA die erste spektakuläre Anwendung dieser Technik (vgl. Carty; 1922).

[240] Von Carson (1919) erstmals erkannte theoretische Möglichkeit, Übertragungsbandbreite bei der Amplitudenmodulation von Trägerwellen mit den Sprechsignalen einzusparen, da aufgrund elementarer Additionstheoreme für die Addition von Winkel funktionen neben der Trägerfrequenz ein oberes Frequenzband (Trägerfrequenz Sprechfrequenz) und ein unteres Frequenzband (Trägerfrequenz-Sprechfrequenz) entsteht. Eines dieser beiden Seitenbänder enthielt bereits die vollständige Nachricht und es reichte aus, dieses zu übertragen.

[241] Siehe Anmerkung 194.

[242] Der ökonomisch vertretbare Aufbau der Netze war in den Jahren zwischen den Weltkriegen das Problem, trotz der prinzipiellen Klärung der Mittel dazu. Vergl. AT&T (1928; 10) oder auch Küpfmüller (1952:20). Ebenso BTL-Präsident Jewett (1936:144) und (1932:141).

[243] Die erste kommerzielle Installation eines Trägerstromfernsprechsystems gab es 1918 auf der Strecke Baltimore – Pittsburgh in den USA mit 4 Kanälen in 5 kHz Abstand der Trägerfrequenzen voneinander (Rose; 1938:253). Auf Kabeln gab es das erste dieser Systeme in Deutschland 1928 mit der »Zweibandtelephoni« auf Seekabeln (Herz, Pleuger; 1938:87 f.).
1926 waren 2% der Netzlänge des Bell Systems mit Trägerstromtelephonie ausgerüstet (Fagen; 1976:347), 1938 waren es 20% (Rose; 1938:246) und 1951 65% (Fagen; 1976:347).

[244] Fernsprechstatistiken in EFD 16: 1930:104 ff., 36; 1934:181 ff., 60; 1942: 65 ff.

[245] Sautter (1951:602).

[246] Siehe Fußnote 244.

[247] Über das spät begonnene, aber um so drastischer vorangetriebene Automatisierungsprogramm des Bell Systems vgl. H. Thayer, »Evolution – Not Revolution« (1924) und Fagen (1976:467 ff.).

[248] EFD 14:1929:241.

[249] EFD 58; 1941:251.

1.000 Telefonanschlüsse sank im Bell System von 22 im Jahr 1902 über 15 (um 1915) auf etwa 6 (1939).[250] In ähnlicher Weise waren in Deutschland »alle größeren ... Ortsnetze im Umbau begriffen und (hatten) ... in kurzer Zeit ganz oder teilweise S(elbst)A(nschluß)-Betrieb« (Kruckow; 1926/27:172).

1938 waren 88% aller Fernsprechanschlüsse in Ortsnetzen mit Selbstanschlußbetrieb.[251]

Dieser eine grundlegende Trend der Entwicklung der Telefonie, die *Verdichtung lokaler Netze* war begleitet von dem zweiten grundlegenden Trend der Ausdehnung des Fernsprechnetzes, d. h. dem *Ausbau der Verbindungen zwischen diesen Netzen.* Ausdruck dieses Trends war die Beschleunigung und Verbilligung des Fernverkehrs.

So verringerte sich in Deutschland der Anteil der dringenden Gespräche (zum höheren Tarif) an den Ferngesprächen von 26,5% im Jahr 1923 auf 1,5%[252] im Jahr 1930 – ein deutlicher Index für geringer gewordene Wartezeiten auf das Zustandekommen normaler Fernverbindungen. In den USA sank die Wartezeit vor dem Zustandekommen einer Fernverbindung von durchschnittlich 17 Minuten im Jahr 1919 auf ca. 3 Minuten 1929 und 1,5 im Jahr 1935.[253] Ebenso verbilligten sich die Ferngespräche. So sank der mittlere Preis eines 3-Minuten-Gespräches zwischen jeweils 2 der zwanzig größten Städte der USA (mittlere Luftlinienentfernung 970 Meilen) von $ 6 im Jahr 1921 über $ 3,70 (1931) auf $ 2,80 im Jahr 1939.[254] Bereits im Jahr 1934 waren 90% aller Telefone der Welt zusammenschaltbar – wenn auch noch unter hohen Kosten.[255]

Diese Ausdehnung der Netze brachte eine Reihe technischer Probleme mit sich. Verzerrungen, Dämpfungen und Störeinflüsse, die über kurze Strecken noch tolerierbar waren, vermehrten sich über *längere* Strecken und größere Zahlen von Verstärkerzwischenstufen rapide.[256] Vorhandene Teilstrecken konnten nicht einfach einandergefügt werden, um bei gleicher Qualität größere Entfernungen zu überspannen. Netzteile, die zunächst nur für kurze Entfernungen gedacht waren, senkten als Teilstücke größerer Strecken[257] deren Qualität, denn

> »die Kette der in einer internationalen Fernsprechverbindung zusammengeschalteten Leitungen kann kein breiteres Frequenzband übertragen, nicht geringeres Geräusch und praktisch auch nicht weniger Verzerrungen aufweisen, als das jeweils in dieser Beziehung schlechteste Glied.«[258] (Bornemann; 1952:115)

---

[250] Fagen (1976:550).
[251] Langer (1938:169).
[252] Everwin (1937:68).
[253] Angenäherte Werte aus einem Diagramm entnommen, AT&T (1935:29).
[254] Diese Zahlen galten für die Wochentage, an Sonn- und Feiertagen war die Entwicklung analog. Q.: »Facts about the Bell System«, AT&T, New York; 1940:6. Eine Sprechverbindung New York – San Francisco verbilligte sich beispielsweise von $ 16,50 (1926) auf $ 9 (1929) AT&T-Jahresbericht in EFD 17; 1930:179.
[255] Valensi (1965:7).
[256] 1934 waren 350.000 Verstärkerröhren im Bell-Netz eingebaut, 200 von ihnen waren an einer Verbindung New York – San Francisco beteiligt. (Perrine; 1934:221) Die 1927 von Harold S. Black (BTL) eingeführte Methode des »negative feedback« (Gegenkopplung) war die wichtigste Methode, die Verzerrungen, die sich bei dem Durchlauf eines Signals durch eine Kette von u.U. 20 Verstärkern ergaben, zu beseitigen. Vgl. u. a. Bello (1958:19), der auch eine sehr anschauliche Schilderung der Größenordnung gibt, die dabei eine Rolle spielt : Verstärkungsfaktoren von 10^{3600} – gegenüber 10^{40} als dem Faktor, der den Durchmesser des sichtbaren Universums in Protonendurchmessern angibt. Eine Übersicht über eine Reihe verschiedener Faktoren, deren störende Einflüsse in einem Telefonnetz sich mit dessen Ausdehnung vermehren, obwohl sie für sich genommen nur geringen Einfluß haben, gibt F.L. Rhodes in »Details Multiply« (1926).
[257] Dies betont z.B. Mentz (1926/27:222).
[258] Dieser Gedanke wird sehr oft geäußert, z. B. Braun (1941/42:129) (»Eine Kette ist nicht stärker als ihr schwächstes Glied«). F. B. Jewett verallgemeinerte diesen Gedanken (1932:134): »Useful physical things can be no better than the poorest of the elements of which they are composed.« Von dieser Feststellung bis hin zu den bahnbrechenden Arbeiten J.v. Neumanns und von Shannon und Moore in den 50'er Jahren über »Realiable Circuits using less reliable relays«, in denen die Möglichkeit nachgewiesen wurde, aus relativ unzuverlässig funktionierenden Teilen nahezu sicher funktionierende Systeme zu bilden, war es technisch wie theoretisch ein weiter Weg.

Besonders in Europa tauchte zusammen mit dem Aufbau der Fernverbindungen das Problem der Anpassung von Netzen aneinander auf, die sich national unabhängig voneinander entwickelt hatten. In diese Zeit der Ausdehnung der Telefonnetze in Europa fällt die Gründung des Internationalen Konsultativkomitees für Fernsprechfragen, CCI (Comité Consultatif International des communications téléphoniques à grande distance), später als CCIF bezeichnet im Jahre 1924. Es folgten CCIT (für Telegrafie) 1926 und CCIR (für Funk) 1929.[259]

Technisch machten sich neue Fernleitungen und Übertragungsverfahren erforderlich. Man konnte dazu übergehen, Kabel zu verlegen, als es mit Hilfe entwickelter Verstärkertechniken möglich geworden war, diesen ähnliche Übertragungseigenschaften zu verleihen, wie den materialaufwendigen und störanfälligen Luftleitungen[260], beispielsweise, die Übertragung höherer Frequenzen zuzulassen. 1922 waren 1/4 aller Fernleitungskilometer in Deutschland Kabel, 1926 bereits mehr als die Hälfte.[261] Die Gesamtweite der Fernstrecken hatte sich in diesen 4 Jahren um 130% vermehrt – fast ausschließlich durch den forcierten Fernkabelbau.

Da vor allem der Wellenfilter die Übertragung mehrerer Sprechkanäle ökonomisch möglich machte, die jedoch in höheren (Träger)frequenzen als den akustischen der natürlichen Sprache untergebracht werden mußten, erwiesen sich nun die pupinisierten Leitungen[262], die in der Zeit vor der Anwendung der Verstärkerschaltung verlegt worden waren, als Hindernis für die neue Übertragungstechnik der Trägerstromtelefonie, da in ihnen hohe Frequenzen sehr stark gedämpft wurden. Diese Frequenzen mußten in derartigen Leitungen daher besonders verstärkt werden.[263]

Verstärker und Wellenfilter ergänzten sich also gegenseitig in ihrer Anwendbarkeit bei der Übertragung gesprochener Sprache über große Entfernungen: was der erste *technisch ermöglichte,* machte der zweite *ökonomisch durchführbar.* Übertragungsstrecken, die die Verbindung schon jeweils recht ausgedehnter Netze mit sich brachten, hatten große Verkehrsaufkommen zu bewältigen. Neue Übertragungstechniken ließen sich daher auf ihnen ökonomisch einsetzen, bei denen für kurze Strecken zu komplexe und teure Endgeräte notwendig waren.[264] Mit anderen Worten, die Entwicklungsrichtung der Übertragungstechnik verlief von den für kurze Entfernungen ökonomischsten Kabelübertragungstechniken (alte pupinisierte Kabel) zu den für große Entfernungen ökonomischsten (Breitbandkabel).[265]

So spiegelt die Entwicklung der Übertragungstechniken die räumliche Ausdehnung der Netze wider, wie die Entwicklung der automatischen Schaltungstechnik deren Verdichtung. Ausdehnung wie Verdichtung der Netze brachten höhere Gesprächszahlen und -dichten (Zahl der auf einer Kabelverbindung möglichen Gespräche) mit sich: erstes als natürliche Folge der vermehrten Zahl der Teilnehmer, letzteres als ökonomisch notwendige technische Reaktion darauf, wollte man nicht stets eine dem Wachstum möglicher Sprechverbindungen proportionale Zahl neuer Leitungen verlegen.

In Tabelle 9 ist als ein Index der gesteigerten Effizienz der Übertragungsverfahren die abnehmende Menge an Kupfer angegeben, die für eine Sprechverbindung von 500 km Länge notwendig war.

Der älteren Vorstellung lag das technische Modell der Nachrichtenübertragung, der *Kette*, der Nachkriegstheorie das des *Netzes* von Schaltelementen zugrunde, d. h. der *Nachrichtenverarbeitung.*

[259] Vergl. Bornemann (1952). Die angegebenen Jahreszahlen bezeichnen die ersten Tagungen der jeweiligen Kommissionen (1924: Paris, 1926: Berlin), Handbuch 1 (1929:207 f.).

[260] Gründe für den Übergang zum Fernkabelnetz waren u.a. die Unmöglichkeit der weiteren Verdichtung der Netze auf der Basis von Luftleitungen (Kölsch; 1926/27:188) und deren mechanische und elektrische Störanfälligkeit. So auch Bornemann (1952:103).

[261] Handbuch I (1929:464).

[262] Vor Einsetzbarkeit der Verstärkerschaltung einzige Technik die telefonische Fernübertragung ermöglichte: durch in die Leitung geschaltete Induktivitäten (Spulen), die die Dämpfung der elektromagnetischen Schwingungen des interessierenden Frequenzbereiches verringerten.

[263] Über den Übergang von pupinisierten Leitungen zu Kabelstrecken im Bell System vergl. Rose (1938:251 f.).

[264] Dies betonen z. B. Lüschen, Küpfmüller (1937:28).

[265] Auch in den USA wurden die ersten praktischen Versuche mit den Breitbandkabeln 1936 gemacht (Rose; 1938: 250 ff.).

TABELLE 9: Kupferaufwand einiger Übertragungssysteme der Telefonie für 500 km einer Verbindung
(Q.: Lüschen, Küpfmüller; 1937:3)

Übertragungssysteme	Bauart	Kupferaufwand/Verbindung	
Freileitung (3 mm)	1910	42.000 kg	
normal pupinisierte 4-Drahtleitung (0,9mm)	1927	7.600 kg	1)
mit 1-System ausgerüstete Leitg. (0,9mm)	1932	3.800 kg	2)
Breitbandkabel	1936	550 kg	3)

1) eine derartige Leitung enthält 6 Sprechverbindungen
2) eine derartige Leitung enthält 12 Sprechverbindungen
3) ein Breitbandkabel trägt 200 Sprechverbindungen

Die komplizierter werdenden Übertragungstechniken erlaubten die Entkoppelung des direkten Zusammenhanges zwischen Materialaufwand und der Zahl der Sprechkanäle.

2.3.2 PROBLEMK0MPLEXE IN DER TELEFONIE

Für die Beurteilung der Eigenschaften eines Telefonsystems gab es nur einen Qualitätsmaßstab von Bedeutung: die Gesamtqualität, wie sie sich nach außen hin dem Benutzer des Systems darstellte.[266] Die für die Technik wichtigsten Elemente dieser Gesamtqualität waren die Verständlichkeit einer Verbindung und die Geschwindigkeit ihres Zustandekommens.[267]

Die Abhängigkeiten der äußeren Leistung von den internen technischen Kenngrößen der Systeme (das funktionale Äquivalent zur Telegrafentheorie) wurde in der Telefonie innerhalb der Gebiete Sprechen/Hören/Verständlichkeit (Übertragungsqualität) und Verkehr/Schaltung/Netzplanung (Systemqualität) untersucht.

Diese Gebiete fanden ihre institutionell (Akustik) bzw. theoretisch geschlossene Form (Verkehrstheorie) bereits weit vor der Nachrichtentheorie zwischen den Weltkriegen.

Obwohl formale und inhaltliche Beziehungen zur Nachrichtentheorie später erkannt wurden, hatten sie für deren Entwicklung keine Rolle gespielt.

2.3.2.1 NETZPLANUNG, SCHALTUNG, VERKEHR

Durch die Forderung nach der *Schnelligkeit der Herstellung von Verbindungen* (geringe Wartezeit) waren drei Bereiche der Fernsprechtechnik angesprochen: die *Schaltungstechnik* hinsichtlich der Entwicklung automatischer Schaltsysteme in Vermittlung (Ämterschaltung) und Endapparaten (Handwähler) zur Verkürzung der Schaltzeiten in den Ortsnetzen und später Fernverbindungen, die *Übertragungstechnik* hinsichtlich der Bereitstellung großer Zahlen billiger Kanäle zur Verminderung der Wartezeiten und die *Netzplanung* zur Optimierung der Zahl notwendiger Vermittlungsstellen und Übertragungsstrecken. Im Zusammenhang mit der Notwendigkeit zur Verbilligung der Kanäle, zu ihrer Bündelung[268], zu Netzplanung und schneller Schaltung stellte Lüschen und Küpfmüller (1938:17) fest, daß

[266] In einem Monopolsystem wie dem Telefonnetz äußerte sich mangelnde Qualität bestenfalls in der Zahl der Anschlüsse oder der Zahl »verkaufter« Verbindungen, war aber nicht etwa an Umsatzzahlen alternativer Apparate ablesbar, wie in der Rundfunktechnik. Es mußte daher ein anderes, internes, weniger direkt mit dem Markt verbundenes Kriterium der Betriebsqualität entwikkelt werden (Pocock; 1948:256).

[267] Vergl. z. B. Kölsch (1930/31:188 f.), Valensi (1965:7), Gladenbeck (in Grünfeldt; 1938) und entsprechend auch die Einteilung der Fragen des CCIF (Bornemann; 1952:115).

[268] Die Verkehrs- oder Belegungstheorie besagt, daß Bündel von Leitungen oder Kanälen, bei denen alle gegeneinander austauschbar sind, viel höhere Verkehrswerte zulassen, als die gleiche Anzahl von Kanälen in verschiedenen Bündeln. Andererseits

»aus der Forderung nach Herabsetzung der Wartezeit wichtige Entwicklungslinien der Fernsprechtechnik hervorgehen« (Lüschen, Küpfmüller; 1938:17).

Diese Forderung war in der Telefonie ähnlich folgenreich, wie in der Telegrafie die Forderung nach hoher *Nachrichtenübermittlungsgeschwindigkeit*[269], die den Anlaß für die ersten Überlegungen zum Zusammenhang zwischen Nachrichtenmenge und Signalübertragung gegeben hatte. Bereits seit Anfang des Jahrhunderts war das Problem des Verkehrs und der Wartezeiten Gegenstand (wahrscheinlichkeits)theoretischer Arbeiten[270] und spätestens seit den Arbeiten Erlangs (1918) und Molinas (1922)[271] kann man von einer Verkehrstheorie sprechen. Diese stellte damit die erste geschlossene spezifische Theorie der Nachrichtentechnik dar. Grundlegendes Problem der Verkehrstheorie war die Frage, wieviel Gespräche über eine gegeben Zahl von Anschlüssen in einer gegebenen Zeit zu erwarten waren und welche Übertragungstechnik notwendig war, (welche Zahl von Kanälen oder Bündeln von Kanälen) um diese in gegebenen Wartezeiten zu bewältigen.[272]

Die Verkehrstheorie hatte keinen direkten Einfluß auf die Herausbildung von Vorstellungen über das Wesen der Nachricht. Sie konnte es kaum haben, da die Einheiten, mit denen sie es zu tun hatte, Gespräche oder Verbindungen waren, und deren Menge, Dauer und Schnelligkeit der Realisierung. Erst nach dem Erscheinen der Shannonschen Informationstheorie und der Arbeiten Wieners, in denen die wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden für die Beschreibung des Prozesses der Nachrichtenübertragung bzw. Signalanalyse selbst fruchtbar gemacht worden waren, gab es Versuche, Verkehrs- oder Belegungstheorie und Nachrichtentheorie einheitlich zu betrachten.[273] Dabei wurde der ›Fluß‹ von Gesprächen durch ein Vermittlungsnetzwerk beschrieben, dessen Leistung darin bestand, möglichst viele Gespräche möglichst sicher zu bewältigen. Dabei wurde der Hoffnung nach engerer Kooperation zwischen Belegungs- und Nachrichtentheorie Ausdruck gegeben.

Lange vor dem Erscheinen der Informationstheorie war jedoch bereits ein solches ›Fluß‹-Bild in der Verkehrstheorie auf rein qualitativer Ebene üblich, wie es z. B. aus der folgenden Bemerkung hervorgeht:

---

ist der Bündelung eine Grenze gesetzt durch die dann notwendigerweise steigende Zahl von Vermittlungsstellen, um solche starken Bündel optimal auszunutzen.

[269] Erst mit der großen Ausdehnung der Kabelstrecken tauchte auch in der Telefonie auf der Ebene der Signalübertragung ein Zeitproblem auf (so äußert sich z. B. Blackwell; 1932:141). Zum einen treten durch die unterschiedlichen Laufzeiten unterschiedlicher Frequenzanteile Verzerrungen in der Sprache auf, zum anderen wird eine zu große Verzögerung durch zu lange Laufzeiten der Signale insgesamt zu einer Störung des Gesprächsflusses führen. Das Problem aber war hierbei, die Geschwindigkeit nicht unter eine bestimmte untere Grenze absinken zu lassen bzw. die Laufzeiten der verschiedenen Frequenzanteile anzugleichen. Höhere Impulsgeschwindigkeiten, nicht weit von der theoretischen Grenze der Lichtgeschwindigkeit, ließen die Breitbandkabel dann zu.

[270] Hintergrund für die Notwendigkeit der Einführung wahrscheinlichkeitstheoretischer Modelle in die Verkehrstheorie der Telefonie war die Verdichtung der städtischen Telefonnetze:
»Satisfactory telephone service in metropolitan areas is as dependent upon applied probability as is the success of life insurance.« (G.A. Campbell; 1924:225) Wohl der erste, der wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtungen auf Verkehrsprobleme der Telefonie anwandte, war M.C. Rorty in einem AT&T-internen Memorandum, »Application of the theory of probability to traffic problems« (AAA, Box 1360) vom 22.10.1903.
Zu einigen Aspekten der Geschichte der Schaltungs- und Verkehrstheorie vergl. Wilkinson (1956) oder Fagen (1976:538 ff.).

[271] Erlang (1918), Molina (1922) und Fry (1929), das bereits lange vor dem Zeitpunkt seines Erscheinens als ATT-internes Meomrandum existierte. Anfangs legte man in der Verkehrstheorie, die neben der Ballistik die erste umfassende Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie in der Technik darstellte, noch Wert darauf, sich für die Verwendung von theoretischen Modellen zu entschuldigen, bei deren Entstehung die Glücksspiele Pate gestanden hatten (Frei; 1925, 6:1). Ebenso hütete man sich davor, sich auf das Feld der philosophischen Diskussionen zu begeben, wie sie in der Physik der Zeit bei der Verwendung wahrscheinlichkeitstheoretischer Modelle eine so große Rolle spielten (Lubberger; 1925:v).
Einen ausführlichen Eindruck von Arbeiten und Leben A.K.Erlangs vermittelt die Erlang-Sonderausgabe der Trans.Dan.Acad.Techn.Sci.2;1948. Dieses ist insofern interessant, als es sich hier um die Entstehungsbedingungen der ersten geschlossenen mathematischen Theorie in der Nachrichtentechnik handelt, die nicht aus der Physik entlehnt war. Erlang leistete für die Verkehrstheorie, was Shannon für die Übertragungstheorie tat.

[272] Den zeitgenössischen Stand geben Lubberger (1944) und Frei (1925) gut wieder. Bibliografien in Lubberger, Rückle (1924) und Syski (1955).

[273] Shannon (1950a), Syski (1955:220), Syski (1960:85).

»Die Aufgabe der Vermittlungstechnik besteht darin, daß der in jeder Schaltstelle eintreffende Zufluß an Gesprächsanmeldungen unbedingt und ohne Verzögerung von dieser Schaltstelle weiterfließt. Würde der Zufluß ständig größer als die Abflußmöglichkeit sein, so würde entweder ein gewisser Bruchteil aller Gesprächsanmeldungen zurückgewiesen werden müssen, oder es würde die Zeit, die der Teilnehmer bis zur Durchführung des Gesprächs warten muß, ständig größer und größer werden.« (Lüschen, Küpfmüller; 1938:12)

Vor dem zweiten Weltkrieg befand sich die Verkehrstheorie innerhalb der Nachrichtentechnik in einer »splendid isolation« (Syski; 1955:222) – *inhaltlich:* in gängigen Lehrbüchern der Nachrichtentechnik wie »Communication Engineering« (Everitt; 1932), »Theorie der Schwachstromtechnik« (Wallot; 1943) oder »Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung« (Küpfmüller; 1949 und 1952) taucht sie nicht auf – und *institutionell:* in Deutschland war die Netzplanung und Verkehrstheorie sowohl durch die institutionelle Grenze zwischen Post und Industrie von der technischen Entwicklung getrennt (erst 1939 richtete man im Siemens ZL ein Labor »Netzplanung« ein[274]) als auch innerhalb des Telegraphentechnischen Reichsamtes von der technischen Forschung (»Versuche«[275]). In der AT&T waren Netz- und Verkehrsplanung noch nach 1934 nicht Sache der BTL und des dafür u. U. in Frage kommenden Systems Development Department, sondern des räumlich und institutionell davon getrennten Traffic Department der AT&T.[276]

Die Verkehrstheorie war ein Spezifikum der Fernsprechtechnik, da sie aus der Notwendigkeit entstand, die Fernsprechsysteme den starken Schwankungen des Verkehrs (wie sie für die Telefonie typisch waren) anzupassen. Sie war daher auf wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle angewiesen.

In Techniken, wo die zu übermittelnden Nachrichten aufgezeichnet vorlagen (Schrift, Bild) und daher von ihren Quellen und Bestimmungen (den Benutzern) getrennt werden konnten, tauchten solche Verkehrsprobleme nicht auf. Innerhalb solcher Systeme konnte man die Nachrichten zeitlich beliebig verteilen (z. B. in der Telegrafie). In der Telefonie dagegen waren die »calls originated at the whim of the user« (Fagen; 1976:536).[277]

In der Telefonie belegte die Verkehrstheorie gerade den Platz (bzgl. der Bewältigung der Effizienzprobleme), an dem in der Telegrafie der Zusammenhang zwischen Charakteristika der Übertragungsstrecken und deren möglichen (Nachrichtenübertragungs-)leistungen untersucht wurde. In der Zeit, als Hartley die Beziehungen zwischen Frequenzbandbreite W, Übertragungszeit t und Menge der übertragbaren Informationen, dem *»Nachrichtenfluß«* (Strecker; 1935), durch ein derartiges System formulierte (1928):

$$H \sim W \cdot t$$

war in der *Verkehrstheorie* eine analoge Beziehung zwischen der Zahl der Belegungen pro Zeiteinheit, c, der Belegungsdauer t und der »Belastung« b[278] oder dem *»Verkehrsfluß«* (Lüschen, Küpfmüller; 1938:13) bereits lange üblich[279] und als »ct-Wert« bekannt:

$$b = c \cdot t$$

Gemessen wurde der Verkehrsfluß in »Verkehrseinheiten« (VE) (Lüschen, Küpfmüller; 1938) oder »traffic units (TU)« im Englischen.[280]

---

[274] SAA, L 869, ZL Jahresbericht; 1.10.1938 – 30.9.1939:2.
[275] Anhang I.
[276] Dies geht aus Blackwell (1935: 2 f.) und Waterson (1926) hervor.
[277] Anfang September 1939, als in Europa der Krieg ausbrach, stieg die Zahl der Ferngespräche z. B. *innerhalb* der USA »praktisch über Nacht« um 30% und überstieg alle bis dahin bestehenden Rekorde (ATT Bericht; 1939:5).
[278] Lubberger in Handbuch II (1929:737).
[279] S. L. Campbell (1908).

Dieses Produkt ct war dabei entscheidend für die Berechnung der Zahl der notwendigen Verkehrswege zur Bewältigung der Belastung b, wie Wt *in dieser Zeit* für die telegrafischen Techniken als das entscheidende Produkt für die Bemessung eines Übertragungssystems zur Bewältigung der Nachrichtenmenge H angesehen wurde.

Strukturelle Verwandtschaft zwischen Nachrichten- und Verkehrstheorie, die ohne Zweifel besteht,[281] beruht darauf, daß die Vermittlung in der Telefonie einen digitalen Prozeß darstellt, wie in der Telegrafie die Übertragung. Die Schaltimpulse in der Telefonie waren das Äquivalent der Nachrichtenimpulse in der Telegrafie, denn

> »basically all forms of automatic switching involve the substitution of electrical impulses for the voice of the originating subscriber in making known his desire.« (Jewett; 1928:163)

Jede Verbindung, die ein Teilnehmer herzustellen wünschte, bedeutete eine spezielle Folge von Schaltimpulsen, d. h. jede *Verbindung* wurde durch eine *digitale Impulsfolge* dargestellt, die die Schalterstellungen beschrieb, wie in der *Telegrafie* eine *Nachricht.*

Wie zu erwarten, gab es daher in der Telefonie Klagen über die unübersichtliche Vielfalt von Schaltungssystemen[282], die nahezu wortgleich denen über die Vielfalt von Übertragungssystemen in der Telegrafie waren.[283]

Auf dem Gebiet der automatischen Schaltung, so stellte man Ende der 20er Jahre fest,

> »toben die Kämpfe der Techniker in den Fachzeitschriften über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme.« (Kruckow; 1926/27:170)

Der prinzipielle Grund für diese Systemvielfalt war beide Male derselbe: Ein System, das diskrete Einheiten einander zuzuordnen hatte (gewünschte Verbindungen zu Anordnungen von Schalterstellungen bzw. Buchstaben zu Signal folgen), konnte dies in vielerlei verschiedener Weise tun.

Um so größer konnte daher der Einfluß theoretischer Überlegungen sein:

> »probability and number theory had a far reaching influence upon the design of the Western Electric Company panel and rotary machine switching systems.« (Wilkinson; 1956:799)

Ohne Zweifel war die *Schaltungstechnik der Telefonie* eine der unabhängigen Quellen für die Entwicklung von *Theorie* (Shannon)[284] und *Technik* (Stibitz)[285] der *digitalen Nachrichtenverarbeitung* – wobei das Wort »digital computer« aller Wahrscheinlichkeit 1942 von Stibitz selbst geprägt wurde.[286] Und auch deren Philosophie kündigte sich in diesem Bereich an – ersetzend die »Philosophie« der Nachrichtenübertragung, wie sie von Hartley (1928) aus der *digitalen (Übertragungs)Ebene der Telegrafie* abgeleitet worden war.

---

[280] Vergleiche über die heute gebräuchlichen verschiedenen Einheiten Handbuch I (1970:388). Neben den genannten sind dort noch das »Erlang« oder die »Erlangstunde« u.a. angeführt.
[281] Shannon (1950a), Syski (1955).
[282] Neben den zitierten Äußerungen auch Lubberger in Handbuch II (1929:475) oder Fagen (1976:534 f.).
[283] Vgl. dazu II.2.1 und II.2.2
[284] Shannon's Schaltalgebra (1938) entstand im Zusammenhang mit Relaissystemen am Differential Analyzer (vgl. III.3), verschaffte ihm jedoch unmittelbar Zugang in die BTL-Forschung in der dann weitere Arbeiten wie »Memory requirements for a telephone exchange« (1950a), »Programming a computer for playing chess« (1950b) oder »Reliable circuits using less reliable relays« (1956) entstanden.
[285] Dessen »complex number calculator«, der 1940 den Betrieb aufnahm, war aus dem Bedürfnis weiterer Verwendung der in Massenproduktion zur Verfügung stehenden Telefonschaltrelais entstanden. Vgl. III.2.
[286] Vergl . III.2.3.

In philosophischer Form hatten die Schaltmechanismen der Telefonie schon früh Vergleiche mit der »operation of an human being« inspiriert (Jewett; 1932:143), die sich viel später als erstaunlich zutreffende Ausblicke erweisen sollten, nachdem Vergleiche der Telefonverbindungen mit Nervennetzen bereits im vorigen Jahrhundert gelegentlich geäußert worden waren (Carty; 1890:6). 1922 wurde J. J. Carty, AT&T Chefingenieur und Vizepräsident in einem Vortrag über die »Ideals of the Telephone Service« unter Bezug auf die Arbeiten Herbert Spencers (in dem er das Fernsprechwesen gewissermaßen auf eine philosophische Basis stellte) zu noch bemerkenswerteren Überlegungen angeregt:[287]

> »I believe, that the study of these (telephone – FH.) networks from the standpoint of biology is destined to yield important results, and indeed, that an investigation of the remarkable developments of the automatic machinery used in modern telephone switchboards might even throw light on the mechanism of the mind itself.« (Carty; 1922:7)

Zwanzig Jahre später war dieser Gedanke Kern der Forschungsprogramme einer Reihe interdisziplinärer Bewegungen.

2.3.2.2 ÜBERTRAGUNGSQUALITÄT

Keine solche einfache Beziehung zwischen Systemeigenschaften und der Qualität der am Empfänger erhaltenen Signale wie sie in der Telegrafie zwischen Übertragungsbandbreite, Signalgeschwindigkeit (Intersymbolinterferenz nicht mehr unterscheidbarer Signale) und dem Anteil falsch empfangener Zeichen bestand, konnte in der Telefonie Verwendung finden. Lange Zeit wichtigstes Qualitätskriterium in der Telefonie war der außerordentlich komplexe Begriff der *Verständlichkeit*, als des Anteils falsch verstandener zusammenhangloser Silben in Laborexperimenten, der lediglich statistisch erfaßbar war und dem man objektive Charakteristiken der Übertragungsstrecke zuzuordnen hatte.

Ältestes dieser objektiven Kriterien für Verständlichkeit einer Verbindung war die Lautstärke[288], die die Verständlichkeit am stärksten beeinflußte[289], aber bei weitem nicht den einzigen Einflußfaktor darstellte.[290] Ende der dreißiger Jahre stellte sich der Ursachenkomplex für die Qualität einer Verbindung, deren Hauptkriterium die Verständlichkeit war[291], folgendermaßen dar:

> »Die physikalischen Größen, die die Übertragungseigenschaften einer Fernsprechverbindung bestimmen, sind die Lautstärke, die Laufzeit, die Dämpfungsverzerrung, Phasenverzerrung und nichtlineare Verzerrung und die Übertragungsstörungen. Der Zusammenhang zwischen diesen Größen und der Übertragungsgüte ist ... außerordentlich verwickelt.« (Lüschen, Küpfmüller; 1937:4)

Ein Verfahren, die Übertragungsqualität meßbar zu machen, war ihre Skalierung mit Hilfe eines Normkreises. 1926 wurde dem CCIF ein solcher Normkreis von der ATT gestiftet[292], dessen Eigenschaften als Vergleichsbasis dienten. Dieser stellte ein für Europa wichtiges Instrument dar, da hier oft mehrere verschiedene Telefonverwaltungen am Zustandekommen einer Verbindung beteiligt waren und die schlechtesten Teile stets die Eigenschaften der Gesamtverbindung bestimmten. Leichter war es in den USA, innerhalb des allein von der ATT verwalteten Fernnetzes Standards einzurichten.

---

[287] Noch deutlicher beschreibt John Mills (1934) in »Communication with Electrical Brains« die Analogie zwischen den Funktionen automatischer Schaltsysteme in den Großstädten und denen der menschlichen Gehirne – mit einer Ausführlichkeit, die zeigt, daß mit den sich verdichtenden Telefonnetzen Analogien zu den Gehirnfunktionen immer mehr aufdrängten.
Von der Analogie zur Theorie brauchte es dann allerdings noch einmal 10 Jahre.
[288] Wallot (1943:416), ebenso z.B. POEEJ (1956:236).
[289] Beispielsweise Schmidt (1940/41:111).
[290] So z.B. Kölsch (1930/31:176).
[291] So einer der wichtigsten Leute in Deutschland auf dem Gebiet der Qualitätsmessung Braun (1941/42:128).
[292] Bornemann (1952:105).

Vergleichsmaßstab mit diesem in Paris deponierten Normkreis war die Bezugsdämpfung, d. h. die Dämpfung, die in einen solchen Normkreis eingeschaltet werden mußte, um die beim Sprechen über ihn erzielte Lautstärke der des zu untersuchenden Kreises anzugleichen.[293] Am Anfang des Zweiten Weltkrieges galt die Bezugsdämpfung als das »wichtigste Kriterium für die Übertragungsgüte« (Nagel; 1941/42:51). Es betraf jedoch nur einen der die Verständlichkeit beeinflussenden Faktoren, nämlich die Lautstärke, und ordnete dieser eine meßbare Systemeigenschaft zu. Artikulationstests waren bereits lange vor dem ersten Weltkrieg gemacht worden[294], umfangreiche Verständlichkeitsmessungen und eine Theoriebildung mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik setzten jedoch erst später ein.[295] 1925 sprach Dudley von der »Transmission of intelligibility« in der Telefonie (Dudley; 1925). Das klassische Werk dieser ersten großen Phase der Untersuchung von Sprache, Sprechen und Verständlichkeit war Harvey Fletchers »Speech and Hearing« (1929).

Um diese Zeit wurde versucht, theoretische Abhängigkeiten zwischen empirisch ermittelten Silben-, Wort- und Satzverständlichkeiten aufzustellen, mit Hilfe des sogenannten »Artikulationsindex«. Dabei war klar, daß die Satzverständlichkeiten immer größer sein mußten als die *Wort*- und diese größer als Silbenverständlichkeiten, denn:

> »Perception of the meaning of a sentence does not involve correct perception of each word composing it ... That context assists is well known it is not known however, just how and to what degree, on a numerical scale, the context assists understanding.« (D.I.B.;21.4.1926:2)

Bei diesen Untersuchungen wurde von demselben Werk Gebrauch gemacht, das Shannon später für seine Experimente zur Struktur der Sprache und ihrer Redundanz herangezogen hatte, »The Relative Frequency of English Speech Sounds«, eine 1923 von Dewey publizierte Aufstellung der Laut- und Buchstabenhäufigkeiten.

Deutliches Zeichen für die unterschiedlichen Entwicklungsrichtungen von Telegrafie und Telefonie zu jener Zeit ist die Tatsache, daß solche sprachstatistischen Untersuchungen, die unter »Telephone Quality« Ende der zwanziger Jahre bereits einen recht hohen Stand erreicht hatten, keinen Eingang in die Telegrafie fanden. Dort war zwar die Bedeutung der Nachrichtenstruktur, in der die Buchstaben und Wörter nicht gleich verteilt waren, angedeutet worden (1924 hatte Nyquist eine Häufigkeitstabelle der militärischen Kryptografie zum Vergleich unterschiedlicher Codes verwendet), brauchte aber offensichtlich nicht weiterverfolgt zu werden.[296]

Zur gleichen Zeit, als Hartley versuchte, sein Maß der Übertragungseffizienz für verschiedene *technische* Übertragungssysteme aufzustellen, gab es in diesem Kontext Versuche, ein allgemeines Maß der Verständlichkeits-Effizienz für verschiedene *Sprachen* aufzustellen. Es versteht sich, daß dies in F+E eines in verschiedenen Ländern operierenden internationalen Unternehmens geschah:

J. Collard (IT&T, Europa) gelangte mit dem Maß der »time efficiency« einer Sprache, dem Verhältnis aus der Dauer, eine »given number of ideas« (Collard; 1928/29:173) über eine *gegebene* Verbindung und über eine *ideale* Verbindung zu übertragen, zu einer Reihung der Sprache, die der späteren, nach ihrer Redundanz entsprach.

---

[293] Z. B. Lüschen, Küpfmüller (1937:4).
[294] So im General Post Office der britischen Telefon- und Telegrafenverwaltung (Post) seit 1905 (POEEJ;1956:238).
[295] Die ersten Arbeiten sind G.A. Campbell »Telephonic Intelligibility« (1910) und I.B. Crandall »The composition of speech« (1917). Die große Zahl von Arbeiten auf diesem Gebiet beginnt allerdings erst mit den Arbeiten Fletchers und seiner Gruppe. H. Fletcher »The Nature of Speech and its Interpretation« (1922)
Diese Autoren sind sämtlich in der AT&T-Forschung.
Vergleiche zur Entwicklung dieses Gebietes Fagen (1976:943 f.)
[296] Siehe II.3.1.

Was später nach dem Zweiten Weltkrieg in Shannons Theorie über die statistische Struktur der Sprache gesagt wurde, war für die »intelligibility people« nichts Neues, sie brauchten bekannten Dingen lediglich neue Namen zu geben.

Ähnlich wie am Beispiel der Verkehrstheorie zeigt sich hier deutlich, daß man von *der* Nachrichtentechnik auch in theoretischer Hinsicht nicht sprechen kann. Denn hätte ihre Entwicklung ein *Kontinuum* dargestellt, in dem einmal verwendete Methoden und Modelle generell genutzt worden wären, so wären die Theorien des Verkehrs und der Verständlichkeit nicht nur *funktional* und *formal verwandte* Theorien in anderen Teilgebieten, sondern *direkte* Vorläufer der Nachrichtentheorie gewesen. Daß sie dies nicht sind, ist Ausdruck der *Existenz und Abfolge verschiedener Techniken* in der Fernmeldetechnik, innerhalb derer Modelle nicht weiter entwickelt zu werden brauchten, als es zur Lösung von deren spezifischen Problemen notwendig war.

Zwei Ursachen dafür werden in dieser Arbeit näher untersucht: a) die *Abfolge der Techniken* in der Fernmeldetechnik und der *Entwicklungsphasen,* in denen sie sich befanden, bewirkten, daß strukturell ähnliche Probleme *in unterschiedlichen Techniken zu verschiedenen Zeiten* gelöst werden mußten, und

b) die großen F+E-Institutionen der Industrie und der Postverwaltungen, in denen die Forschung konzentriert war, waren nach technischen und nicht nach theoretisch-formalen Gesichtspunkten geordnet.

Das organisatorische Erscheinungsbild der *kleinen und verteilten klassischen Theoriegruppen* in den unterschiedlichen Abteilungen macht deren Entfernung voneinander deutlich.[297]

Die vergleichsweise »interdisziplinäre« Theorie Shannons entstand in einem neuartigen organisatorischen Kontext.[298]

Es wurden noch weitere Methoden entwickelt, die Qualität von Telefonverbindungen zu messen, deren Erläuterung aber hier zu weit führen würde.[299]

2.3.2.3 ÜBERTRAGUNGSTECHNIK

In der Übertragungstechnik war die oben geschilderte Entwicklung der Telefonnetze mit dem Bestreben verbunden, die Bandbreiten der Kabel oder *Übertragungsstrecken* zu erhöhen, um mehr Sprechkanäle unterzubringen und ebenso die Bandbreiten der *Sprechkanäle* selbst zu erhöhen, um die Übertragungsqualität zu verbessern.

Theoretisch gab es zwar noch eine andere Möglichkeit der ökonomischeren Ausnutzung der Übertragungsstrecken als das Frequenzmultiplex (die Aufteilung in mehrere Kanäle unterschiedlicher Träger-

---

[297] Vgl. oben, II.1.3.2.
[298] Vgl. unten, III.1.
[299] Der Vollständigkeit halber sei hier kurz auf das Wichtigste eingegangen: Zu Beginn der dreißiger Jahre führte die amerikanische Telefongesellschaft ATT – mit der Arbeit W.H. Martins, »Rating the Transmission Performance of Telephone Circuits« (1931) ein vollständig neues Prinzip der Qualitätsbeurteilung von Fernsprechverbindungen mit dem Verfahren der sogenannten Rückfragezählung (»repetition rate«) ein. 1938 wurde diese Methode vom CCIF nach beträchtlichen Diskussionen als derzeit beste Methode die Betriebseigenschaften eines Sprechkreises zu messen anerkannt (Pocock; 1948:261).
Bei diesem Verfahren wurden die Wiederholungsfragen und Mißfallensäußerungen der Benutzer eines Systems gezählt und über eine längere Zeit gemittelt. Dieses ungeheuer aufwendige System bot ein Maß der Gesamtqualität, war allerdings mit den in Laborexperimenten erhaltenen Angaben zur Verständlichkeit o. ä. nur schwer zu korrelieren. Pocock (1948:256 ff.) behandelt dieses Verfahren ausführlich.
Sprechkreise mit gleicher Rückfragehäufigkeit sollten gleich in ihren Übertragungseigenschaften sein.
Dieses Maß war für Europa nur schwer anwendbar in den verschiedenen nationalen Netzen, unterschiedlichen Sprachen und Verwaltungen. Weitere Versuche der Qualitätsmessung in Laborexperimenten stellten Grinstedt's (1937) und Braun's (1940) Ansätze dar.

frequenzbereiche) und damit die Erweiterung der Bandbreite der Übertragungsstrecken, nämlich das Zeitmultiplexverfahren, bei dem auf einem Kanal Teile verschiedener Nachrichten als »Gemisch« übertragen wurden. Diese Technik setzte jedoch die Teilbarkeit einer Nachricht in identifizierbare Elemente voraus. Solches konnten Impulse (Signalelemente) sein, wie in der Telegrafie oder bei der Puls-Code-Modulation[300], Sprechteile, die durch längere Pausen voneinander getrennt waren, wie bei TAS (»time assignment speech interpolation«)[301], Formantsignale, wie beim Vokoder oder einzelne Laute, wie bei einem von J. C. Steinberg vorgeschlagenen System, bei dem Vokale auf ein schmaleres, Konsonanten auf ein breiteres Frequenzband geschaltet wurden.[302]

Zwischen den Weltkriegen waren allerdings Zeitmultiplextechniken in erster Linie der Telegrafie vorbehalten. Die BTL begannen erst Ende der dreißiger Jahre mit einem umfassenden Programm zur Entwicklung von Zeitmultiplexverfahren in der Telefonie.[303]

In den zwanziger und dreißiger Jahren versuchte man mit unterschiedlichem Erfolg, diese Techniken der Zeit- und Frequenzteilung in verschiedenen für die Telefonie vorgeschlagenen Verfahren miteinander zu kombinieren. Davor hatte man sie in der Telegrafie noch gelegentlich als Konkurrenten oder Alternativen gesehen.[304]

Die zweidimensionale Darstellungsweise von Signalen, wie sie nach dem Zweiten Weltkrieg bei Gabor (1946) als Informationsdiagramm auftauchte und auch 1935 von Strecker verwendet wurde[305], geht auf die Techniken der Kombination von Zeit- und Frequenzmultiplex zurück.[306] Davor lag die alternativ 1-dimensionale Darstellung der Signale als Zeit- oder Frequenzfunktion näher.

Wie gesagt, konnte man aber höhere Effizienz der Übertragung in der Telefonie zwischen den Weltkriegen eher in der Steigerung der Bandbreiten der Übertragungssysteme und der Reduktion der Bandbreiten für eine Sprechverbindung als in gesteigerter Komplexität und Schnelligkeit von Schaltsystemen erzielen.

Als ein Beispiel für den Versuch, Übertragungsprinzipien der Telegrafie zur Bandbreitenreduktion für telefonische Übertragung fruchtbar zu machen, seien Überlegungen zitiert, die man 1935 im Transmission Circuit Research Department der BTL anstellte und in deren Verfolgung der Vocoder Homer Dudleys 1936 entstand:

> »The question is, can some analysis of the nature of speech be made, which will give signals transmissible to the far end of the cirucit in a much narrower frequency range, which signals can in turn be used to reconstruct the original speech. This involves a research into the fundamentals of speech transmission, which, if successful , will prove of enormous value in the case of expensive transmission links such as the long wave transatlantic radio or a transatlantic cable.« (Buckley; 18.2.1935; 43 f.)

Zusammendrängung der für die Übertragung von Gesprächen gleicher Verständlichkeit notwendigen Bandbreiten der Sprechkanäle und *Erweiterung* der von Leitungen oder Kabeln übertragbaren Frequenzbandbreite, um mehr solcher Kanäle in ihnen unterbringen zu können, bestimmten daher in der

---

[300] Vgl. III.2.
[301] Bello (1958:19). Mit Hilfe dieses Systems, bei dem während der natürlichen Sprechpausen eines Gespräches andere Gespräche automatisch auf die Verbindung geschaltet wurden, konnte die Kapazität an gleichzeitig möglichen Gesprächen des 1956 verlegten Transatlantik-Fernsprechkabels verdoppelt werden. Ein solches System setzte allerdings hochentwickelte und schnelle Schaltungstechniken voraus.
[302] Vgl. Strecker (1939).
[303] W.R. Bennett (23.2.1976:3).
[304] »Der Kampf zwischen der Verteiler-Vielfachtelegraphie und der Wechselstromtelegraphie« (Murray; 1927:1014).
[305] Vergl. II.3.3.
[306] Eine solche zweidimensionale Darstellung ist wahrscheinlich zuerst von A. Carpe in einem Patent (USA-Patent 1821004) vom 2.7.1929 vorgeschlagen worden zur praktisch anwendbaren Darstellung technischer Verfahren der Reduktion von Bandbreiten in FernsprechÜbertragungen durch Zeit- und Frequenzmanipulationen.

Übertragungstechnik die Entwicklung.[307] Fortschritte in Übertragungstechnik und Elektroakustik stimulierten sich dabei gegenseitig.

Die Verstärkertechnik hatte Anfang der zwanziger Jahre die praktische Möglichkeit eröffnet, *breitere* Frequenzbänder zu übertragen, als es die bis dahin Fernübertragungen allein ermöglichende Technik der Pupinisierung erlaubt hatte. Damit begann auch eine außerordentlich intensive Forschungsarbeit im Bereich von Sprechen/Hören/Akustik/Elektroakustik[308], um die akustischen Eigenschaften der Endgeräte zu verbessern und auch an diesen Stellen weitere Frequenzbänder übertragen zu können. Ein Ergebnis dieser intensiven Bemühungen – besonders der Forschung der ATT/Western Electric (H. Fletcher u.a.) – war, daß die diversen bis dahin existierenden Vorstellungen über Sprechen und Hören Eingang in einen relativ geschlossenen Forschungsbereich fanden. Oder anders ausgedrückt, sich zu dieser Zeit *eine* Wissenschaft dieses Gebietes erst herauskristallisierte.[309]

Andererseits erlaubten es Ende der dreißiger Jahre die Fortschritte der Elektroakustik, die Übertragungsbandbreiten weiter heraufzusetzen: Die obere Übertragungsgrenze lag zu Beginn der Verstärkertechnik für Fernverbindungen bei 2000 Hz, 1928 bei 2400 Hz, dann 2600 Hz und 1938 bei 3400 Hz für zwischenstaatliche Verbindungen. Für Rundfunkübertragungen nutzte man auf Fernsprechleitungen 1338 ein Band von 30 - 8000 Hz.[310]

Es stieg also sowohl die Zahl der in einer Leitung untergebrachten Kanäle, als auch deren Bandbreite selbst. Eine radikale Änderung der Leitungsübertragungstechniken stellten die ab Mitte der dreißiger Jahre in praktischen Versuchen erprobte Breitbandkabeltechnik mit Hohlleitern (oder Koaxialkabeln) dar (Deutschland, 1935; USA, 1936).[311] In diesen erreichte die Impulsgeschwindigkeit nahezu die theoretische Grenze der Lichtgeschwindigkeit und 200 Fernsprechkanäle konnten in einem solchen Kabel untergebracht werden. 1938 wurden in den USA umfangreiche Versuche mit dieser Technik im Betrieb gemacht[312], in Deutschland waren 1941 bereits 3900 km Breitbandkabel verlegt.[313]

---

[307] Ebenso wie in der Funktechnik ging auch in den Leitungstechniken der Weg zu immer breiteren Frequenzbändern, d. h. höheren Frequenzen, vgl. z. B. Herz und Pleuger (1938:87).

[308] 1922 stellte man in einem Literaturüberblick fest, daß »infolge der Einführung der Verstärker ... die Frage nach der Reinheit der Sprachübermittlung immer mehr in den Vordergrund« träte (Jordan in JBET; 1922:163).
Die AT&T unternahm zu Beginn der zwanziger Jahre »a more comprehensive and precise investigation of speech than has ever before been attempted« (AT&T; 1924:16).
1925 mußte man in dem Literaturüberblick zur Telefonie konstatieren, daß vor allem die Akustik neue Forschungsergebnisse erbracht hatte, während in deren anderen Teilgebieten »überwiegend über Verwertung und Handhabung von grundsätzlich Bekanntem berichtet« wurde (Jordan in JBET; 1925:163). Dasselbe galt für 1926 und 1927 (Jordan, JBET; 1926: 1970 und Salinger, JBET; 1927:189).
Vor Beginn des AT&T-Programmes in diesem Bereich hatte man innerhalb von F+E des Bell Systems den Stand des Gebietes beurteilt als »ridicolous behind the times in the matter of fundamental knowledge of speech and hearin and the relation of these factors to telephony''. (Crandall; 1920:1).

[309] Am 24.1.1925 gab dieser Problembereich Anlaß zu wohl einem der ersten interdisziplinären Kongresse von Wissenschaft und Nachrichtentechnik. Harvey Fletcher (BTL) hielt in Boston auf einem Joint Meeting der AIEE und der Triological Society einen Vortrag: »Demonstration of the Principles of Talking and Hearing with Application to Radio''. In seinen einleitenden Worten bemerkte er:
»This joint meeting of the medical , musical , physical and engineering societies is rather significant. As far asIknow it is one of the first of its kind that has been held.« (BAA, »Telephone Quality« 11.30, vol .1:1924-26)
Vgl. dazu auch Fagen (1976:943), wo es heißt: »The new concepts about the hearing process that were generated by Fletcher and his colleagues came at a time, when otologists, physiologists, psychologists and physicists had been at odds, each sponsoring a theory that accorded with his own training and point of view. The work in the Western Electric Laboratories (später BTL-EH) accordingly had a unifying effect, that was universally applauded, manifesting itself in numerous papers by joint authors in cooperating fields.«
1929 wurde die Acoustical Society of America gegründet, mit Harvey Fletcher als erstem Präsidenten,
1930 begann das Journal of the Acoustical Society of America mit dem Erscheinen (JASA) unter Unterstützung der BTL (JASA 1 ;1929 ,1:24)

[310] Küpfmüller (1939:5), Strecker (1939:218), Gladenbeck (1938:23).

[311] Erste Versuchsanlage in den USA 1936, New York – Philadelphia (ATT; 1936:8). Erste Teststrecke in Deutschland 1935 (Sautter; 1952:259).

[312] Rose (1938:258).

Die entscheidende Ursache für die Entwicklung dieser Kabel war das Fernsehen mit seinem unvergleichlich größeren Bandbreitenbedarf[314] und der Notwendigkeit, wegen seiner Ausstrahlung auf den kürzesten Wellen, die allein diese Bandbreiten erlaubten, aber nur geringe *direkte* Sendereichweiten ermöglichten, Sendernetze dafür einzurichten. Entwicklung und Betrieb dieser Netze fiel dann wieder in die Kompetenz der Telegrafen- und Telefonverwaltungen und -industrie (in den USA: ATT).

Für den Gegenstand dieser Untersuchung ist der Hinweis auf die kurz vor Beginn des Krieges einsetzende Breitbandtechnik wichtig, weil damit auch die Telefonübertragungen in den Bereich höherer Frequenzen vorstießen, für die die Störungen durch das thermische Rauschen eine zunehmende Rolle spielten.[315] Damit stieß die Telefonie etwa zur gleichen Zeit wie die Funktechnik in Frequenzbereiche vor, die eine intensivere Beschäftigung mit dem Rauschen erforderlich machten. Im Gegensatz zu anderen Teilbereichen der Nachrichtentechnik war die Hochfrequenztechnik durchaus ein zusammenhängender Bereich, unabhängig von den verschiedenen Anwendungsbereichen hochfrequenter elektromagnetischer Schwingungen.[316]

Insgesamt ausschlaggebend war die Entwicklung der Hochfrequenztechnik im Zusammenhang mit dem Radar während des Zweiten Weltkrieges.[317]

2.3.3 ENTWICKLUNG DES FACHGEBIETES

In der Tabelle 10 ist der Anteil einzelner inhaltlicher Bereiche der Telefonie an den Veröffentlichungen zusammengestellt.

TABELLE 10: Teilgebiete der Telefonie 1921, 1927, 1939 (Q.: Jahrbuch der Elektrotechnik (1921, 1927), Schriftenschau RPF (1939)

Teilgebiete	1921		1927		1939	
	absol .	Anteil	absol .	Anteil	absol .	Anteil
Qualität, Störungen, Akustik *	17	11/%	60	9,9%	43	9,6%
Kongresse; historische, statistische Übersichten	11	7%	38	6,3%	77	17,3%
Technische und theoretische Überblicke	16	10%	16	2,6%	20	4,5
Übertragungs- und Verkehrstheorie			19	3,1%	9	2,0%
Apparate und Bauteile	26	17%	49	8,0%	87	19,5%
Elektronenröhren (-theorie, messung, -bau), Verstärker **	29	19%	191	31,4%	36	8,1%
Systemtechnik, Betrieb, Anwendungen, Anlagen	24	15%	129	21,2%	136	30,5%
Wirtschaftlichkeit, Tariffragen	-	-	14	2,3%	-	-
Weitverkehr, Übertragungstechnik	33	21%	92	15,2%	38	8,5%
Insgesamt	156	100%	608	100 %	446	100 %

*)1939 wurde ein Teil der Akustik in die »Physik« ausgegliedert

**)1939 waren Elektronenphysik und Röhrentechnik ein separates Teilgebiet der »Physik«

Um die Angaben vergleichbar machen zu können, konnte nicht vollständig der jeweiligen Originalklassifikation gefolgt werden, obwohl dies, wo möglich, angestrebt wurde.[318]

Dabei lassen sich deutlich drei Trends ausmachen:

- die drastische *Zunahme* des Anteils von Arbeiten zu *Systemtechnik, Betrieb und Anwendungen* von 15% (1921) auf über 30% im Jahr 1939. Dies läßt die gestiegene Bedeutung des »systems enginee-

---

[313] Sautter (1951:260).
[314] Herz, Pleuger (1938:87 f.) und Strecker (1939:215).
[315] Gladenbeck (1938:39).
[316] Der Bereich »Hochfrequenztechnik« umfaßte beispielsweise separate Zeitschriften (»HF-Technik und Elektroakustik«), Lehrstuhldefinitionen (TH-Berlin) und Forschungsbereiche (Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung, Berlin).
[317] Vergl. III.2
[318] Vergl. Anhang III zur Methode der Auszählung.

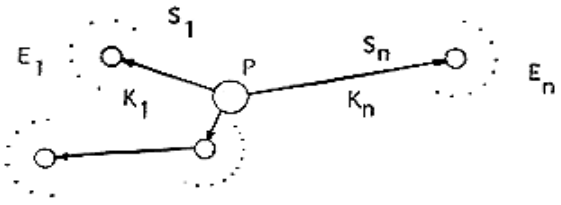
ring« in der Fernmeldetechnik des Zweiten Weltkrieges z. T. als Fortsetzung eines bereits bestehenden Trends erkennen.

- das Ansteigen des Anteils von Arbeiten in denen statistische, historische oder geographische Überblicke über Stand oder Entwicklung der Fernsprechtechnik gegeben werden von 7% (1921) auf 17% (1939) und

- das drastische *Absinken* des Anteils von Arbeiten zu *Weitverkehr* und *Übertragungstechnik* von 21% (1921) auf 8,5% (1939), was bereits die relativ gesunkene Bedeutung des Übertragungsaspektes der Telefonie deutlich macht. Die Probleme der Telefonie lagen nicht mehr in diesem Bereich, der noch 1921 der wichtigste aller aufgeführten Einzelbereiche gewesen war.

Diese Entwicklung des Fachgebietes »Telefonie« spiegelt direkt die des Verkehrsmittels und der Technik »Telefonie« wider: Vernetzung, zunehmende Probleme des Betriebes und verbreitete Anwendung ganzer Systeme.

ABBILDUNG 10: Ein einfaches Rundfunknetz



P: Programmquelle
K1,...,Kn : Übertragungsstrecken
S1, ...,Sn: Sendestationen
E1,...,En : Empfängergruppen

Abgesehen von einigen Arbeiten der Akustik, die eine Transferfunktion für bestimmte Gedankengänge der Physik in die (Gaborsche) Kommunikationstheorie hatten[319] und einem Versuch der Wiederaufnahme des Hartley'schen Konzeptes durch Okada (1940)[320] finden sich unter »Fernsprechen« ansonsten keine weiteren, für die Herausbildung eines Nachrichtenbegriffes wesentlichen Arbeiten in den untersuchten Bibliographien verzeichnet.[321]

Darstellungen wie in Abbildung 10 wurden erst in den 30er Jahren im Zusammenhang mit der Rundfunk-Netzplanung üblich.

[319] Vergl. Abschnitt III.3.1 zu Gabor (1946).
[320] Vergl. Abschnitt III.3.2.
[321] Es wurden die Bibliografien in JBET (1920-27), Techn. Zeitschriftenschau (1928-1930), Dietrich, Verzeichnis der Zeitschriftenaufsätze (1926-1932), Zeitschriftenschau in EFD (1930-1942), (Zeit-)Schriftenschau des (RPZ) RPF (1930-1941) dafür durchgesehen, sowie die Indexbände von BSTJ, Proc IRE, J. AIEE und Science Abstracts (B) (1921-1939).

2.4 DER RUNDFUNK

Durch Ergebnisse in den F+E-Programmen des Rundfunk trat der Aspekt der Signalqualität in den Vordergrund.

Seit den Arbeiten Armstrongs war es deutlich, daß effiziente Übertragungsverfahren auch bei extrem hohen Bandbreiten existieren konnten – im Gegensatz zu theoretischen Vorstellungen, die man unter dem Aspekt der Bandbreitenökonomie entwickelt hatte. Nachdem gezeigt worden ist, daß die Technik der klassischen Telegrafie zur Entstehung der ersten Formen einer Nachrichtentheorie Anlaß gab und Theorien vergleichbarer Leistung innerhalb der Telefonie ganz anders aussehen mußten, erhebt sich die Frage, in welchem Verhältnis die Funktechnik zur Entstehung von Nachrichtentheorien stand.

VORBEMERKUNG

Ein einfaches Rundfunknetz besteht im Prinzip aus einer Programmquelle p, einer Anzahl von Sendestationen s_1, ..., s_n, die über Kanäle K_1, ..., K_n mit p verbunden sind, und den Empfangsbereichen mit den Empfängergruppen E_1, ..., E_n. Aufgabe eines solchen Netzes ist es, (a) ein Programm möglichst billig und bei guter Qualität möglichst weit zu verbreiten, (b) möglichst viele verschiedene Programme für jeden der Empfänger zur Auswahl zur Verfügung zu stellen. Die Organisation eines derartigen Rundfunkwesens bestimmt, wie sich die Schwergewichte zwischen den Aufgaben (a) und (b) verteilen. Ein solches Netz ist in Abbildung 10 dargestellt.

2.4.1 ENTWICKLUNG DES BETRIEBES

Rundfunksender und -empfänger verbreiteten sich schnell. Netze zwischen Sendestationen gleichen Programms sorgten für Programmverbreitung trotz der mit größerer Sender- und Programmzahl knapper werdenden Frequenzbandbreiten.

Im Jahr 1919 stellte man in der amerikanischen Telefongesellschaft AT&T Überlegungen an, auf welche Weise die Funktechnik für den Fernsprechverkehr nutzbar gemacht werden könnte. Es zeigten sich drei Möglichkeiten:

a) der Anschluß von Teilnehmern auf *beweglichen* Objekten wie Schiffen und Flugzeugen an die Telefonnetze,

b) der Anschluß fest lokalisierter, aber *schwer zugänglicher* Stellen, und

c) die Verbindung von *Gruppen von Teilnehmern* miteinander.[322]

Den wichtigsten Kreis möglicher Fernsprechteilnehmer an »schwer zugänglicher« Stelle stellten die Fernsprechnetze auf der jeweils anderen Seite des Atlantik dar. 1927 gab es die erste transatlantische Fernsprechverbindung zwischen London und New York[323], 1930 war die transatlantische Telefonie etabliert[324], nachdem man 1916 mit dem Fernsprechverkehr mit Schiffen den Anfang gemacht hatte.[325]

---

[322] So die leitenden Forschungsingenieure der ATT und Western Electric Company Craft und Colpitts in einem Vortrag vor der American Institution of Electrical Engineers (AIEE) im Jahr 1919. vgl. Fagen (1976:381).
[323] Küpfmüller (1952:312).
[324] Fagen (1976:422).
[325] Ebenda: 370. Bereits 1915 hatte es eine erste experimentelle Funkfernsprechverbindung über den Atlantik gegeben (K. R. Sturley; 1978:427).

Für die Fernsprechfunkstrecken galten ganz ähnliche Anforderungen und wurden ganz ähnliche Techniken angewendet wie in der Leitungstelefonie, z. B. Multiplextechniken der Verteilung von Gesprächen auf verschiedene Kanäle, Einseitenbandmodulation zur Einsparung von Bandbreite und Vermehrung der Zahl der Übertragungskanäle. Ebenso konnte ein großer Teil der Bauteile identisch sein, wie Verstärker, Modulatoren etc.[326] Nach langen Schwierigkeiten, ihre Zuständigkeiten im Bereich der Funktechnik gegeneinander abzugrenzen, einigte man sich in den internationalen Fernsprech- (CCIF) und Funkorganisationen (CCIR) schließlich im Jahre 1951, den *Richt*funk dem *Fernsprechen* zuzuordnen (in dessen Netzen er seine wichtigste Rolle spielte) und alle anderen Bereiche dem *Rundfunk.*[327] Aus der dritten oben genannten Anwendungsmöglichkeit der Funktechnik für die Telefonie ging eine eigenständige Technik hervor, der Rundfunk. Dessen Eigendynamik realisierte recht schnell seine institutionelle Autonomie gegenüber den anderen Techniken.[328] Seine Definition war bald nicht mehr technisch bestimmt, als eine »Funk«technik *(wesentlicher Bestandteil des Rundfunks waren die Programmübertragungs(kabel)netze),* sondern bildete einen *spezifischen Komplex aus Nachrichtenform und Struktur ihrer Verteilung.*

Auch die Technik des *»Drahtfunks«* als Teil des Rundfunks unterstreicht, daß es keineswegs der »Funk« war, der die Nachrichtenübertragungstechnik »Rundfunk« definierte, sondern allein die besondere Struktur der Nachrichtenverbreitung – die anfangs durch die drahtlose Übertragung *nahegelegt* wurde.

Mit der Etablierung des Rundfunks Anfang der zwanziger Jahre[329] begann in Europa und Amerika der eigentliche Aufstieg der Funktechnik. Es ließen sich lukrative Märkte absehen, und es bestand die Notwendigkeit und die finanzierbare Möglichkeit, die Technik zuverlässig und billig zu entwickeln und alle möglichen Störungen kontrollierbar zu machen. Das neue Medium erlebte ein ungeheures Wachstum, die Zahl der Rundfunkteilnehmer überstieg bald bei weitem die Zahl der Fernsprechteilnehmer. In Tabelle 11 sind die Zahlen für Deutschland und die USA angegeben.

TABELLE 11: Zahl der angemeldeten Hörer bzw. der installierten Rundfunkempfänger in Deutschland und den USA, 1922-1939 (Mio.)* *(Q.: Sautter; 1951: 273/Weinberger;1939)*

Land	1922	1925	1929	1933	1937	1939
Deutschland	–	1	3	5	8,5	12,4
USA	0,06	4,1	10,9	20,2	34,0	43,1

*) Wegen der unterschiedlichen Organisation des Rundfunkwesens in Deutschland und den USA sind die Angaben unterschiedlich definiert

Die neue Technik bot phantastische Möglichkeiten, jeder Besitzer eines Empfängers konnte an Übertragungen teilnehmen, ohne auf die Verlegung von Leitungen angewiesen zu sein. Jeder der dazu in der Lage war, konnte mit geringem Aufwand einen Sender betreiben.[330]

Die Leistung der Sender stieg von 250 Watt bei den ersten Anlagen über 3 Kilowatt, Mitte der zwanziger Jahre[331] bis zu 100 kW Ende der dreißiger Jahre.[332]

---

[326] Fagen (1976:362).
[327] Bornemann (1952:120).
[328] Über die institutionelle Entwicklung ausführlich bei MacLaurin (1949).
[329] Der Betriebsbeginn der »Funkstunde AG« in Berlin wird als »Geburtsstunde des deutschen Rundfunks« bezeichnet: der 19.10.1923 (Sautter; 1951:271) In den USA begannen die ersten kommerziellen Sender WBAY, später WEAF, der ATT 1922/23 mit dem Betrieb (Fagen; 1976:437).
[330] Eine ausführliche Schilderung der Folgen dieser Beliebigkeit der Teilnahme an Funkempfang und (Amateur)Sendung für jedermann findet sich bei Giesicke (1926/27:294 f.).
[331] Bredow (1930:94).
[332] Gehrt (1937:331).

Anfang 1925 waren in Deutschland 12 Sender, Ende 1929 27 Sender[333] und 1937 26 Sender mit regelmäßiger Programmausstrahlung in Betrieb, mit dann insgesamt 960 kW Sendeleistung[334], daran waren 3 Sendernetze mit je 2, 5 und 5 Sendern beteiligt.[335]

In den USA waren 1929 614 Sender in Betrieb im Bereich zwischen 200–600 m (Wellenlänge)[336] und 1937 waren es 714 Sender. Die beiden größten Sendernetze unterhielten NBC mit 152 und CBS mit 103 Sendern. NBC konnte damit die gesamten USA mit z. T. 2 Programmen beliefern. Die etwa 300 insgesamt an Sendenetzen beteiligten Sendestationen machten 1937 in den USA 90/% der gesamten Sendeleistung aus.[337]

Bereits lange vor dieser Zeit hatte sich herausgestellt, daß die Zahl der Sender in einem Gebiet *nicht beliebig gesteigert werden konnte*, da sich diese gegenseitig zu stören begannen.

Auf der 3. Internationalen Wellenkonferenz in Washington wurden 1927 erstmalig entsprechende Befürchtungen gemeinsam geäußert und man einigte sich, zwischen den Wellenbereichen möglicherweise interferierender Sender »Schutzstreifen« von 9 kHz Bandbreite zu fordern.[338]

Seitdem beherrschten die Probleme des Bandbreitenmangels und der Senderreichweite und -koordinierung die Rundfunktechnik[339], sprach man von »schweren internationalen Wellenkämpfen« (Harbich; 1930:255), waren »die Aufgaben des CCIR ... wie so viele technische Arbeiten auf dem Funkgebiet von der Notwendigkeit beherrscht, irgendwie dem Frequenzmangel abzuhelfen.« (Bornemann; 1952:134)

Prinzipiell gab es drei »Wege zur Bekämpfung der Wellenknappheit bei der Rundfunkversorgung« (Bender; 1939:1):

- die Abwicklung über Leitungen beim Drahtfunk,
- den Übergang zu Bereichen kürzerer Wellenlängen, d. h. höherer Frequenzen
- und die Vernetzung der Sender im »Gleichwellenfunk«.

2.4.2 ÜBERTRAGUNG

Die genutzten Frequenzen des Rundfunk verschoben sich von den Lang- zu den Kurz- und schließlich Ultrakurzwellenbereichen. Mit den hohen Frequenzen wurde das thermische Rauschen in den Bauteilen von größerer Bedeutung als ein Störfaktor der Übertragung.

Soweit die Übertragungsprobleme des Rundfunks für diese Untersuchung sind,[340] von Interesse waren sie von den Problemen der technischen Senderkoordinierung in einem räumlichen Gebiet und Fre-

---

[333] Bredow (1930:94) und J.B. Weltrundfunk (1937/38:138).
[334] In Großbritannien waren es 17 mit 867 kW, in Frankreich 25 mit 1207 kW insgesamt (J.B. Weltrundfunk; 1937/38:138).
[335] Vilbig (1937:304).
[336] Magnus (1930:70/71).
[337] Statistik in JB Weltrundfunk (1937/38:138).
[338] Münch (1931:32:259) und Bornemann (1952:107)
[339] vgl. z.B. Vilbig (1937:270)
[340] Abgesehen wird also z. B. von Antennenproblemen, solchen der Richtwirkung, der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre, der Signallaufzeiten, Verzerrungen etc. In den Veröffentlichungen zur Funktechnik, wie sie in den an anderer Stelle genannten Bibliografien angeführt waren, machten Probleme dieser Art einen *Hauptanteil* aus.

quenzbereich bestimmt (Senderreichweite und Senderanzahl) und – für die die Sender verbindenden Netze – durch den weitaus höheren Bandbreitenbedarf einer Programm- als einer Fernsprechübertragung gekennzeichnet. Des weiteren war für die Form späterer Nachrichtentheorie die Beziehung zwischen der Bandbreite der Übertragung und dem Signal-Rausch-Verhältnis von Bedeutung. Durch die weiter unten diskutierte Arbeit Armstrongs (1936) erschien diese in einem neuen Licht.

Der erste für die Funkübertragung genutzte Wellenbereich war die Langwelle (Niederfrequenzen à 3000m – 1000m bzw. 100 – 300 kHz). Dieser Wellenbereich erlaubte hohe Reichweiten, da die abgestrahlten Wellen in ihrem Verlauf der Erdkrümmung folgten und war damit für die ersten Anwendungen des Funkverkehrs gut geeignet.[341]

Auf der anderen Seite boten die Niederfrequenzen nur geringe Bandbreiten für die Übertragung. Zusammen mit der Eigenschaft der großen räumlichen Reichweite führte dies dazu, daß man bereits Anfang der zwanziger Jahre Schwierigkeiten bekam, weitere Sender in diesem Bereich unterzubringen, die nicht mit den bereits vorhandenen interferierten.[342] Damit begann das Forschen nach immer neuen Frequenzbandbreiten, das die Funktechnik in die Bereiche immer kürzerer Wellenlängen führte. Wellen in diesen Bereichen hatten auch in anderer Hinsicht andere Eigenschaften:

> »frequency space has been a basic problem in radio from beginning and explains the emphasis, over the years, that has been placed on developing the *economic use of higher and higher frequencies.* Such frequencies provide the frequency space for more stations and also trend to favor the use of directivity and thus reduce area interference.« (Fagen; 1976:360)[343]

1927 konnte man feststellen:

> »Die neuere Entwicklung der drahtlosen Telegraphie gilt den kurzen Wellen, die Entwicklung der Langwellentechnik ist abgeschlossen.« (Klimke in JBET; 1927:178)

1938 wurde auf der Erde von 245 Kurzwellensendern in 91 (Kurzwellen)bereichen gesendet[344] (100 – 10m bzw. 3 bis 30 MHz).

Die Kurzwellen erreichten als Oberflächenwellen geringere Reichweiten als die Lang- und Mittelwellen hatten jedoch die Eigenschaft, an der Ionosphäre reflektiert zu werden und erreichten auf diese Weise als Fernwellen erhebliche Reichweiten. Diese hingen allerdings stark von den jeweiligen atmosphärischen Bedingungen ab, von Tag/Nacht, von der Sonnenaktivität etc. Im gesamten Zeitraum machten daher die Arbeiten zu den Problemen der atmosphärischen Einflüsse ein Fünftel bis ein Viertel aller Publikationen zur Funktechnik aus (1921:18%, 1927 und 1939: ca. 23%)[345]

Wellen kürzerer Wellenlängen waren leichter zu richten, da zwischen den dazu notwendigen Antennendimensionen und der Wellenlänge feste Beziehungen bestehen. Für die Einpassung in Fernsprechnetze als Richtfunk waren daher nur Wellen kürzester Wellenlänge geeignet, deren Ausbreitungseigenschaften denen des Lichtes glichen. Dieses bedeutete gleichzeitig eine Einschränkung der Nutzung, denn für kurze Übertragungsstrecken waren Leitungen zunächst billiger.[346]

---

[341] Wie Funkverbindungen mit Schiffen, Flugzeugen und über den Atlantik.
[342] So z.B. in Fagen (1976:359 f.)
[343] Hervorhebung - F.H
[344] Jahrbuch des Weltrundfunks (1937/38:121)
[345] Es wurden hier wieder die bereits genannten deutschen Bibliografien, JBET (1921, 1927) und Schr.Schr.RPF (1939) zur Analyse der Veröffentlichungen herangezogen. Die Einteilung folgte dabei zum größten Teil der in diesen Bibliografien verwendeten. Siehe zu Quellen und Methoden im Anhang III
[346] Fagen (1976:359 f.)

Ebenso wie in den Leitungstechniken bedeutete auch im Funk der Übergang zu immer höheren Frequenzen die wachsende Rolle von Übertragungsstörungen, deren Ursache die thermischen Bewegungen der Elektronen in Leitern und Widerständen der Empfänger waren.

Beim Rundfunk verlangte die Verteilung der Sendeenergie auf außerordentlich weite Räume, daß die Signale im Empfänger beträchtlich verstärkt werden mußten, wobei derartige störende Vorgänge im Empfänger und solche im Verstärker selbst mitverstärkt wurden und sich als Rauschen bemerkbar machten. Im UKW-Bereich waren es nun vor allem diese Störungen, die aus der Natur der Elektrizität selbst folgten, die für die Übertragungsqualität ausschlaggebend wurden (gegenüber atmosphärischen Störungen und denen durch andere elektrische Geräte oder Stromnetze hervorgerufenen).[347] Dies war in der Funktechnik in ähnlicher Weise der Fall, wie in den Leitungstechniken.[348]

Für den Rundfunk war die höchstmögliche *Übertragungsqualität* von weitaus höherer Bedeutung als bei der Fernsprechübertragung und ganz andere Kriterien mußten erfüllt werden.[349]

Diese Unterschiede folgten direkt aus der besonderen Nachrichtenform des Programms, für die nicht mehr die Verständlichkeit eines zweiseitigen Gespräches, sondern als die

> »zwei Hauptgesichtspunkte ... die das ganze Gebiet des Rundfunkempfanges beherrschen: die möglichst *naturgetreue Wiedergabe* der vom Mikrophon aufgenommenen akustischen Klangbilder und die Freiheit von Störungen und Nebengeräuschen.« (Gehrt; 1937:311)

entscheidend waren.[350]

Für die Übertragung von Programmen zwischen den Sendestationen in den Netzen der Telefongesellschaften reduzierten sich die besonderen Anforderungen u.a. auf die Bereitstellung größerer Bandbreiten für die Programm als die Fernsprechübertragung – etwa 8000 Hz gegenüber etwa 3000 Hz[351] -und die besondere Sicherung der Übertragungsstrecken vor Störungen, Verzerrungen und Interferenzen.

Für die Übertragungsqualität waren die entscheidenden technischen Kenngrößen die *Freiheit von Verzerrungen*, wofür die 1927 von H.S. Black (BTL) vorgeschlagene Gegenkopplung (»negative feedback«) die entscheidende Rolle spielte; das *Verhältnis der Signal- zur Störamplitude*[352] (zu der Zeit, als die Amplitudenmodulation die alleinige Modulationstechnik war) und die *Bandbreite* der Übertragung.

Lange Zeit unwidersprochen galt für den Zusammenhang zwischen Bandbreite und der Übertragungsqualität hinsichtlich des Signal/Rausch-Verhältnisses: je größer die für die Übertragung genutzte Bandbreite, desto größer der Einfluß der Störungen durch das Rauschen.

Erst später erkannte man, daß diese Annahme lediglich gültig war für den Fall geringer Rauschenergien im Verhältnis zur Signalenergie. Was vordem ein allgemeines Gesetz schien, erwies sich als ein Spezialfall. Seit den in den vierziger Jahren durch Franz und Rice (BTL) entwickelten Methoden der

---

[347] darauf weist z.B. Esau (1930:297) hin

[348] vergl. z. B. Küpfmüller, Lüschen (1937:23), die für ein Fernsprechkabel der Bandbreite 3 kHz die Rolle verschiedener Störeinflüsse angeben: ab etwa 0,5 MHz spielte nur noch thermisches Rauschen (statt externer Störungen) eine Rolle.

[349] vergl. zum Unterschied von Telefon- und Rundfunkübertragung R.T. Barrett (1934: 82 ff.)

[350] Ahnliche Äußerungen über die Anforderungen an die RundfunkÜbertragung, wo
»the communication function is supplemented by the function of entertainment and the property of naturalness, therefore, increases in importance in the reproduced speech« (Martin; 1924:384) waren Legion. So z. B. auch bei Strecker (1939:217).

[351] Wallot (1943:436) - andere Anforderungen waren extreme Stör- und Verzerrungsfreihei t

[352] So wurden beispielsweise Störungen bei einem Verhältnis von Stör- zu Signalspannung von
»1:100 als gerade noch wahrnehmbar
1:20 als deutlich bemerkbar, aber nicht störend
1:5 als stark störend« empfunden.
Nach einer Untersuchung der NBC (Guy;1936)

Beschreibung des Rauschens durch sein Fourierspektrum betrachtete man beliebige Signal/Rauschverhältnisse[353]. Technischer Anlaß dazu war die Höchstfrequenztechnik (300 MHz – 300 GHz), die im Zusammenhang mit Radar – (oder Funkortungs-)techniken während des zweiten Weltkrieges entwickelt wurde.[354]

Wichtigster theoretischer Anstoß zu diesen Überlegungen war die Arbeit E.H. Armstrongs (1936) zur Frequenzmodulation (FM), auf die im folgenden eingegangen wird. In dieser Arbeit zeigte Armstrong, in vollständigem Gegensatz zu den seinerzeit geläufigen Annahmen, wie mit Hilfe der FM bessere Signal/Rauschverhältnisse gegen größere Übertragungsbandbreiten eingetauscht werden konnten.

Dieser Aspekt des Zusammenhanges zwischen Aufwand (Bandbreite) und Qualität der Übertragung (Signal/Rausch-Verhältnis) bildete einen wesentlichen Bestandteil der späteren amerikanischen Versuche, eine allgemeinere Kommunikationstheorie zu formulieren. Fragen nach *Nachrichtenmengen* oder den *Geschwindigkeiten ihrer Übertragung* standen im Rundfunk an keiner Stelle auf der technischen Ebene zur Debatte, zum Nachrichtenbegriff innerhalb der *Nachrichtentechnik* trug daher die Rundfunktechnik darüber hinaus nicht mehr in direkter Weise bei.

2.4.3 NEUBEWERTUNG DER FREQUENZMODULATION

Mit der Umkehrung des Verhältnisses zwischen Bedarf und »Vorrat« an Bandbreiten durch die UKW-Technik verschob sich der Aspekt, unter dem bis dato verschiedene Modulationsverfahren gesehen worden waren. Neben den Zusammenhang zwischen Bandbreite und Signalmenge trat der Zusammenhang zwischen Bandbreite und Signalqualität.

Der letzte der technisch erschlossenen Wellenbereiche zwischen den Weltkriegen war der UKW-Bereich, da die »Herstellungs- und Empfangsmethoden immer schwieriger werden, je kürzer die Wellenlängen gemacht werden« (Esau; 1930:297). In diesem Wellenbereich hatte man für die Rundfunksendungen mit einmal wieder genügend Bandbreiten zur Verfügung – dieses um so mehr, als sich die Wellen im UKW-Bereich nicht wesentlich weiter ausbreiteten als das sichtbare Licht, also ihre mögliche Interferenz auf enge räumliche Bereiche beschränkt war.[355]

Bis dahin bestand aus zweierlei Gründen die Forderung, für die Übertragung so wenig Bandbreite zu beanspruchen, wie es die akustischen Qualitätsansprüche nur gestatteten.

Einerseits bedeutete mehr Bandbreite für die Übertragung eines Senders dessen Interferenz in die Bereiche anderer Sender oder aber eine geringere Anzahl von Sendern. Andererseits hatte sich auch aus den Untersuchungen über thermisches Rauschen und Schroteffekt in Leitern, Widerständen und Röhren der Bauteile die Abhängigkeit

$W_T = 4\ kT$

ergeben (Johnson; 1928 – Nyquist; 1928(a)), nach der die Rauschleistung je Widerstands- und Bandbreiteneinheit, WT, direkt proportional der absoluten Temperatur ist (Proportionalitätsfaktor: das Vierfache der Boltzmannkonstante k).

Bereits seit 1922 (Carson; 1922) schien es unter den erstgenannten Voraussetzungen klar, daß die Amplitudenmodulation gegenüber der ebenfalls lange bekannten Frequenzmodulation eindeutig überlegen war, was notwendigen Geräteaufwand, die mögliche Interferenz in andere Übertragungen bei zumindest gleichem Bandbreitenbedarf anging.[356] Noch in den dreißiger Jahren wurde in verschiede-

[353] Rice (1944), Fränz (194o)
[354] siehe II 1.2
[355] Darauf wiesen z.B. Chaffee (1940:180) oder Ring (1952:168) hin
[356] Armstrong (1936) gibt eine ausführliche Übersicht über entsprechende Arbeiten

nen Arbeiten die Überlegenheit der Amplitudenmodulation mit ihrem geringeren Bandbreitenbedarf hervorgehoben.[357] Ein für die zu jener Zeit verwendeten Wellenbereiche mit ihrer chronischen Bandbreitenknappheit durchaus sinnvoller Schluß.

Bereits 1933 jedoch hatte E.A. Armstrong, seit 1934 Professor an der New Yorker Columbia Universität[358] , ein erstes System frequenzmodulierter Übertragung im UKW-Bereich entwickelt, das mit seinen außerordentlich günstigen Eigenschaften die oben geschilderte Ansicht in Frage stellte.

> Wenn es zwischen den Weltkriegen überhaupt einen definitiven »Gestaltwandel« in den Vorstellungen über die Bedingungen der elektrischen Nachrichtenübertragung gegeben hat, dann wird er durch die Arbeit markiert, die Armstrong als Ergebnis seiner Forschungsarbeit 1936 veröffentlichte.
>
> »A Method of Reducing Disturbances by a System of Frequency Modulation.«

Obwohl er für diese Arbeit anfangs Unterstützung von RCA und der National Broadcasting Corporation (NBC) erhalten hatte, warf er ihnen später mit einiger Berechtigung Ignoranz und Desinteresse vor und

> »he carried the campaign for FM as though it were a personal crusade against the unbelievers« (MacLaurin; 1949:190).

Armstrong selbst investierte in seine Kampagne für die Einführung von FM Übertragungen bis 1940 um $700.000 – $800.000 [359] und hatte ausschließlich die Unterstützung eines kleinen Rundfunknetzes. In seiner recht ausführlichen Schilderung der Durchsetzung der Armstrongschen FM kommt McLaurin zu der Ansicht:[360]

> »The imagination of an independent inventor like Armstrong and a small but aggressive *broadcasting concern* like the Yankee Network were, I think, essential both for the original research and for the subsequent adoption of this important innovation« (MacLaurin; 1949:190)

Im Zusammenhang mit der *These der separaten F+E-Programme in den verschiedenen Nachrichtentechniken* soll hier die Rolle des Rundfunk für den »Gestaltwandel« bzgl. der Sicht der FM noch einmal unterstrichen werden. So schwer wie die FM als *technische Methode* durchzusetzen war, so sehr schlug die Armstrongsche Arbeit *theoretisch* wie eine Bombe ein. In seiner Inaugural-Rede als neuer Präsident der Institution of Radio Engineers (IRE) der USA bemerkte Alan Hazeltine 1936 über die Wirkung der Armstrongschen Arbeit:

> »There is a tendency among young engineers ... to feel that the fundamentals of their field are settled, that for them is left only the improvement of details . .. This is an error . .. into which I fell within the last year when ... I remarked that radio is not as interesting as it used to be. Then came Professor Armstrongs paper on frequency modulation that jarred us out of our rut. Instead of being settled, the accepted fundamentals of broadcasting seem to be all wrong.« (Hazeltine; 1936)

Armstrong schilderte die Herausforderung seiner empirischen Befunde für die bis dahin für gültig gehaltene Theorie:[361]

---

[357] z. B. Roder (1930), der die FM für Rundfunksender verwirft, weil sie keine Verringerung der Frequenzbandbreite mit sich brachte. Dieses war in jener Zeit stets das Ziel.
[358] MacLaurin (1949:184)
[359] FCC Hearings, März 1940 in Electronics, April 1940:14 (zit. nach MacLaurin; 1949:187)
[360] Hervorhebung – F.H.
[361] Hervorhebung – F.H.

»The method to be described utilizes a *new principle in radio signalling* the application of which furnishes an interesting *conflict* with one which has been a guide of the art for many years; i.e. the belief that the narrower the band of transmission the better the signal-to-noise-ratio *That principle is not of general application. In the present method an opposite rule applies.«* (Armstrong; 1936:700)

Diese in dürren Worten geäußerte Erkenntnis wurde durch ein umfangreiches Testprogramm mit dem Frequenzmodulationsverfahren[362] gewonnen, dessen Ergebnisse so deutlich waren, daß

»it was at once obvious that comparisons of the two were principally of academic interest.« (Armstrong; 1936:720)

So erlaubte die Frequenzmodulation beispielsweise wegen ihrer Unempfindlichkeit gegenüber Störungen im Vergleich zur Amplitudenmodulation weit höhere Reichweiten bei vergleichbarer Sendeleistung im selben Frequenzbereich[363], ebenso waren bei der FM Amplituden interferierender Sender bis zu 25-50% der eigenen Senderamplitude tolerierbar, gegenüber der AM, bei der bereits Interferenzen von 1% der Senderamplitude empfindlich störten.

Nach dieser Arbeit begann eine Flut von Untersuchungen[364] und Erprobungen der Frequenzmodulation. So gab es Ende 1939 in den USA 20 FM-Sender mit einer durchschnittlichen Leistung von 5 kW und 34 AM/FM Sender mit 2kW Durchschnittsleistung. Die um diese Zeit noch geringe Anzahl von FM-Empfängern von ca. 3500 Stück (!) zeigte die Schwierigkeiten, die mit der FM verbundene höhere Komplexität der Endgeräte wirtschaftlich zu bewältigen[365] – wie auch die abwartende Haltung der Großen der Funkindustrie und Rundfunknetze gegenüber diesem vollständig neue Systeme verlangenden Verfahren. Die ersten kommerziellen Sender gab es 1941 (18), im gleichen Jahr 180.000 Empfänger in den USA und 1944 waren es 44 kommerzielle Sender und 500 Tsd. für FM geeignete Empfänger.[366] Auch der TV-Ton wurde in FM übertragen.[367]

Wie nicht anders zu erwarten, gab es eine entsprechende Kontroverse über die der herkömmlichen Theorie völlig widersprechenden Leistungen der FM.

Carson, der in Antwort auf entsprechende Vorschläge von Westinghouse Ingenieuren[368] 1922 in seiner Arbeit »Notes on the Theory of Modulation« bereits nachgewiesen hatte, daß man bei der Verwendung von FM gegenüber der Amplitudenmodulation (AM) keinerlei Bandbreitenersparnis erzielen könne und daß alle derartigen Versuche auf einem grundlegenden Irrtum beruhen müßten, hatte damit einen entscheidenden Grundstein für die später von Hartley formulierte Beziehung zwischen übertragbarer Nachrichtenmenge und dem Produkt aus Zeit und Bandbreite (unabhängig von jedem verwendeten Verfahren der Übertragung) gelegt.

Es ist daher nicht erstaunlich, daß er an dieser Debatte entscheidend beteiligt war, denn die von Armstrong nachgewiesenen Eigenschaften der FM schienen seiner Ansicht zu widersprechen. Ebenso schienen sie das Hartleysche Zeitgesetz in Frage zu stellen, denn nach diesem hätte die FM eine au-

---

[362] Bei der FM wurde statt der Antennenspannung (wie bei der AM) die Frequenz der Trägerwelle im Takt der zu übertragenden Schwingung variiert. Die Spannung (Amplitude) blieb dabei konstant – bzw. ihre Variationen durch etwaige Störungen wurden im Empfänger nicht registriert. Alle Amplitudeneffekte des Rauschens blieben belanglos.
Noch entscheidender aber war der sogenannte »capture effect« – die Nutzung einer Bandbreite für die Übertragung, die die Bandbreite der Originalnachricht (wie beispielsweise eines Rundfunkprogrammes) um das Vielfache übertraf. Die Reduktion dieser Übertragungsbandbreite im Empfänger auf die der Originalnachricht bewirkte dann ein sehr verbessertes Signal/Rauschverhältnis.
[363] vgl. Schwartz (1947:221)
[364] Darauf weist u.a. Chessin (1955:15) hin
[365] siehe II.3.2
[366] MacLaurin (1949:190)
[367] vgl. Schwartz (1947:220 f.) oder Chaffee (1940:177)
[368] MacLaurin (1949:185)

ßerordentlich ineffiziente Methode sein müssen[369]. Hartley selbst wies später darauf hin, daß in seiner ersten Arbeit (1928) zwar der Aspekt der Nachrichtenmenge, nicht aber der Nachrichtenqualität berücksichtigt worden sei[370].

Als die ersten Ergebnisse der Armstrongschen Versuche bekannt geworden waren, begann man sich an verschiedenen Stellen der BTL für diese Technik und ihre möglichen Vorteile zu interessieren. In einem Brief an John Carson sprach H. Nyquist das Problem an:

> »The *old question of frequency modulation* as to whether it would result in economy of band width, which you analyzed a few years ago, *is not the point at issue* at the present time. The proposal now is to override interference by means of frequency distortion.« (Nyquist; 13.8.1935)[371]

In seiner Antwort schrieb Carson am 30. August 1935:

> »The whole theory of frequency modulation is too rudimentary to permit of very valuable conclusions as to the relative merits of frequency vs. ampl itude modulation. *The theory as it stands,* however, *does not,* in my opinion, *show any advantage for the former system.* I shall be glad to study the subject further and try to develop a more general and reliable theory. I think such a study may be warranted in view of certain advantages claimed for frequency modulation on experimental grounds. « (Carson; 30.8.1935)[372]

In den hervorgehobenen Äußerungen hatte Carson vollständig recht – was allerdings den damaligen Stand der Theorie eher kennzeichnete als die Leistungen der FM. Zudem wird aus dieser Äußerung deutlich, daß es die *Experimente waren, die Anlaß zu einer Wiederaufnahme der bis dahin für hinreichend gehaltenen Theorie gaben.*

Noch eine ganze Weile zogen sich später die Diskussionen darum hin, ob es der UKW-Bereich sei, der diese besonderen Eigenschaften verursache, statt der FM[373] bzw. ob nicht lediglich die Amplitudenbegrenzung des Armstrongschen Verfahrens für dessen besondere Leistungen entscheidend sei.[374]

Nachdem die Armstrongsche Arbeit das Verhältnis zwischen Bandbreite und Signal-Rausch-Verhältnis in einem neuen Licht hatte erscheinen lassen, gab es in der Nachrichtentechnik gewissermaßen zwei grundlegende, aber zu verschiedenen Schlußfolgerungen führende Gesetze; was am deutlichsten durch Roddam ausgedrückt wurde:[375]

> »The communication theorists had *two separate laws,* one relating information to the *frequency band and the time,* the other relating the *amount of noise to the frequency band:* the problem was to stick them together.« (Roddam; 1949:112)

Diese beiden Gesetze spielten aber – um genau zu sein – *zu unterschiedlichen Zeiten in der Nachrichtentechnik eine Rolle:* das erste in der Zeit, als die klassische Telegrafie die Probleme der NT dominierte, und es wurde uninteressant, als in den analogen Übertragungstechniken für Telefonie und Rundfunk die Bandbreite zur *Qualität* (Verständlichkeit o.a.) in Beziehung gesetzt werden mußte; das zweite in der Zeit, als Trägerstromübertragung mit hochfrequenten Strömen in den dann dominierenden Techniken (Telefonie, Rundfunk) aktuell war – zuvor, in der Telegrafentheorie hatte sie erst am

---

[369] Darauf weist z.B. auch Roddam (1949:112) hin.
[370] siehe 11.3.2
[371] BAA, Case 35835; 1945-343-HN-QS; 11.6. Transmission Theory, vol 2; 1935. Hervorhebg. - F.H.
[372] ebenda (30.8.1935 - 346 - JRC-DTA: p^2). Hervorh. - F.H.
[373] So in »Frequency Modulation - A Revolution in Broadcasting? «, ohne Verf. in Electronics 13; 1940:10
[374] So in einer Debatte in der Zeitschrift Wireless Engineering zwischen John Carson (»Amplitude, frequency and phase modulation «; 1940) und deren Herausgeber Howe (»Frequency versus amplitude modulation « 1941), in der Carson bei seiner Ablehnung der FM blieb.
[375] Hervorhebung – F.H.

Rande interessiert. *Erst die Mischtechniken*[376] *PCM und Fernsehen ließen das Interesse an beiden Gesetzen gleichzeitig aufleben.*

Ende der dreißiger Jahre stellte die Frequenzmodulation mit ihren Eigenschaften für die bis dahin gültigen Gesetze eine Herausforderung dar, die im Rahmen dieser Theorien nicht vollständig erklärbar war.

Die intensive Nutzung und Diskussion der FM fand dann später während des zweiten Weltkrieges statt.[377]

2.4.4 SYSTEMPROBLEME DES RUNDFUNK

Im Fall des Rundfunks führte die Frage nach dem Zusammenhang zwischen externer Leistung und interner Operation (unter den Bedingungen der amerikanischen Form der Organisation des Rundfunkwesens) über die technische Dimension hinaus in den Aspekt der Programme: Programmgestaltung vs. dessen (soziale) Reichweite.

Das funktionale Äquivalent zur Nachrichtentheorie (Telegrafie) bzw. zu Verständlichkeitsuntersuchungen und Verkehrstheorie (Telefonie) war im Rundfunk die soziologische Kommunikationsforschung, unter der Bedingung der Finanzierung des Rundfunksystems von der Programm- (statt der Hörer-)seite.

Geht man davon aus, daß die Nachrichtenformen bei den verschiedenen Techniken unterschiedlich waren: die *Nachricht* in der (klassischen) Telegrafie, das *Gespräch* in der Telefonie und das *Programm* im Rundfunk – verbunden mit den unterschiedlichen Strukturen ihrer Verteilung, dem *Transport*, dem *Austausch* und der *Verbreitung* – so erhebt sich die Frage, was im Falle des Rundfunks die Leistungen einer Systemtheorie des Betriebes erbrachte. In der Telegrafie hatten die frühen Nachrichtentheorien (Nyquist; 1924 – Hartley; 1928), in der Telefonie zum Teil die Verkehrstheorie, zum Teil die Arbeiten zur Verständlichkeit und Gesamtqualität die *Zusammenhänge zwischen externer Leistung und innerem Aufbau der Systeme* geklärt. Zunächst sei dieser Frage für den Rundfunk auf technischer Ebene nachgegangen.

Den Zusammenhang zwischen einem einzelnen Sender und den ihm zugeordneten Empfängern wird man in rein technischer Hinsicht schwerlich ein »System« nennen können. Weder der einzelne Empfänger noch auch ihre Anzahl übte irgendeinen physikalisch erwähnenswerten Einfluß auf den Sender aus. Daher auch konnte die Zahl der zugelassenen Rundfunkempfänger soviel schneller steigen als die Zahl der Fernsprechteilnehmer, daher auch ist sie technisch ein relativ bedeutungsloser Index.

Verwendet man dieselben Begriffe wie bei der Charakterisierung von Telegrafie und Telefonie zwischen den Weltkriegen – Telegrafie: Übertragungstechnik digital, Telefonie: Übertragungstechnik analog, Systemtechnik digital – so war der Rundfunk zwischen den Weltkriegen auf beiden Ebenen eine *analoge Technik:* die *übertragenen Signale* waren kontinuierliche physikalische Abbilder der akustischen Programme, das mögliche *Teilnehmerfeld* ein direktes Abbild des elektromagnetischen Senderfeldes: die Rundfunkgesellschaften legten Feldstärkekarten ihrer Sendegebiete an, und so waren beispielsweise in Abhängigkeit von den örtlichen Störpegeln für ländliche Gegenden 0,5 mV/m Feldstärke, für kleinere Städte 10 mV/m und für Großstädte mehr als 25 mV/m die unteren Grenzwerte für hinreichenden Empfang.[378] Bei einem derart einfachen »Rund-Funk« war zunächst die Verbreitung von Programmen durch die unmittelbare Reichweite der Sender begrenzt.

---

[376] PCM als Mischung aus Telefonie/Telegrafie und Fernsehen als Mischung aus Rundfunk/Telegrafie
[377] Vergleiche III.2 über die Bedeutung des Aufbaus der US-Panzerwaffe für die Durchsetzung der FM
[378] Angaben aus der NBC-Studie (Guy; 1936)

Im Jahr 1923 etablierte die AT&T, die zu der Zeit einige Sender unterhielt, eine Verbindung zwischen ihrem New Yorker Sender WEAF und WCAP in Washington über Telefonverbindungen, wobei beide Sender das gleiche Programm ausstrahlten.[379] Derartige Sendernetze etablierten sich während der zwanziger Jahre entweder *fest*, wie die 2 Netze der NBC (»blaues«, »rotes«), der CBS und anderer *»Programmlieferungsgesellschaften«*, wie derartige Netze damals genannt wurden,[380] oder als *variable* Zusammenschaltungen von Sendern, wenn es um die unmittelbare Übertragung besonderer Ereignisse ging. 1937 hatten die beiden großen Netze der USA je über 100 angeschlossene Sendestationen,[381] in Europa gab es in 7 Ländern insgesamt 19 Netze mit 25 Stationen,[382] in Deutschland 3 Netze mit je 5, 5 und 2 Sendern.[383] Eine der ersten großen Zusammenschaltungen von etwa 300 Sendestationen in den USA galt der Übertragung zu Roosevelts Geburtstag am 30.1.1934.[384]

Um die Interferenz von Sendern eines Gebietes ineinander zu vermeiden, mußte man Wellenbereiche, räumliche Abstände und Sendezeiten koordinieren oder synchronisieren (»Gleichwellenfunk«), um *ein* Programm flächendeckend verbreiten zu können (über *mehrere Sender).* 1937 konnte man im Weltrundfunkverein feststellen, daß sich für die Mittel- und Langwellen durch den Übergang zum Gleichwellenrundfunk die Interferenzen vermindert hatten.[385] Dies war die zunächst ökonomischere Variante gegenüber der Einführung des UKW, die die Anschaffung völlig neuer Empfänger bedeutet hätte. Man schätze den Kostenvorteil der Gleichwellennetz-Einrichtung gegenüber dem UKW auf etwa 60 – 120 Mio. RM.[386]

Prioritäten in Planung und Entwicklung derartiger Netze hingen allerdings von der Organisation des Rundfunkwesens in einem Land ab.

Die Theorie, auf deren Hintergrund derartige Synchronisierungs- und Koordinierungsprobleme gelöst wurden, war die Maxwell'sche Elektrodynamik. Entsprechend waren die für die Leistung eines Senders (Reichweite bei vorgegebener Empfangsqualität) technisch ausschlaggebenden Größen: »Senderleistung, Antennenanordnung, Bodenbeschaffenheit, Störungen durch andere Stationen und örtlicher Störpegel« (Guy; 1936) Hinzu kämen für ein *Netz* derartiger Sender die Eigenschaften der Übertragungsstrecken und Schalteinrichtungen. Sieht man einmal von den Schaltproblemen ab, die in der Telefonie ungleich größer waren (1937 : 700 Sendestationen, aber fast 20 Millionen Telefone in den USA), so gab es auf *technischer* Ebene keine Effizienzforderung im Rundfunk, der durch die Erhöhung einer *Geschwindigkeit,* d. h. der Zahl irgendwelcher Einheiten pro Zeit, hätte Genüge geleistet werden können[387] – wie in der (klassischen) Telegrafie die Forderung nach erhöhter Telegrafier- und in der Telefonie nach erhöhter Vermittlungsgeschwindigkeit.

So wenig, wie es möglich war, den Rundfunk als rein technisches Serviceunternehmen wie die Fernsprechnetze oder Telegrafenlinien zu betreiben, unter Verzicht auf die Nachrichten-, sprich Programmproduktion, *so wenig kann man die Systemeigenschaften von Rundfunknetzen untersuchen, ohne auf die spezifische Nachrichtenform des Rundfunk, das Programm, einzugehen* (was hier aller-

---

[379] Fagen (1976:428 f.)
[380] Magnus (1930:72)
[381] siehe Anm. 86)
[382] JB Wrndfnk. (1937/38:121)
[383] siehe Anm. 84)
[384] Barrett (1934:95)
[385] JB Wrndfnk. (1937/38:121)
[386] Ein Vortrag von W. Hahnemann, »Vorschlag für einen Ausbau des deutschen Rundfunksendernetzes« vom 7.3.1934 in HF-Techn. u. Elektroakustik 44; 1934, 6:203, Zitat aus der Besprechung von Meinel in Ztschr.sch. des RPZ 12; 1935. 16:296 f. Über die Entwicklung und den Aufbau des deutschen Gleichwellenrundfunk vgl. Ribbeck (1937:190) und Vilbig (1937:270)
[387] Läßt man einmal Anforderungen an die Aktualität von Programmen beiseite (wie sich die »sensationelle Seite der Rundfbn-kÜbertragungen« als *technische Forderung nach Programmverbreitung* niederschlägt, geht aus Ribbeck (1937:190 ff.) hervor), so spielte erst für das Fernsehen auf der Übertragungsebene wieder eine Geschwindigkeit eine Rolle: die der Bildabtastung, Impulsfolge und des Bildaufbaus in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Auges einander schnell folgende Bilder als kontinuierlichen Ablauf zu sehen.
vgl. z. B. Walter Reisser, »Bildfunk, Fernsehen und Tonfilm« (193O:299ff.) oder Abschnitt 11.2.5 (»Fernsehen«).

dings nur am Rande geschehen kann). Die Entwicklung des kommerziellen Rundfunk in den USA illustriert diesen Fall.

Aufgrund von Patentproblemen mit den anderen Großen der Elektroindustrie der USA (vor allem Westinghouse und General Electric) entschloß sich die AT&T 1922 zum Betrieb eines Rundfunksenders, WBAY, wobei man naheliegenderweise Prinzipien des Fernsprechbetriebes zugrunde legte. In einem Memorandum der AT&T hieß es daher:[388]

> »The American Telephone and Telegraph Company will provide no program of its own, but provide the channel through which anyone with whom it makes a contract can send out their own programs. Just as the company leases its long distance wire facil ities for the use of newspapers, banks and other concerns, so it will lease its radio telephone facilities and will not provide the matter which is sent out from this station.« (AT&J; 11.2. 1922)

(Man vergleiche auch das hier deutlich werdende Grundkonzept mit dem weiter oben im Zusammenhang mit dem TWX-Fernschreibsystem der ATT zitierten identischen Konzept).

Diese Stellungnahme leitete den Sendebeginn der Station WBAY, später WEAF in New York ein (25.7.1922). Es stellte sich jedoch bald heraus, daß neben den (Werbe)programmen, für deren Verbreitung die Bell-Sender gemietet worden war, andere »sustaining programs« notwendig waren, um das Interesse der Hörer an den Sendungen wachzuhalten.

Zwischen den großen Konkurrenten der Elektroindustrie liefen zu dieser Zeit eine Vielzahl von Patentprozessen und Antitrustklagen über die Aufteilung der Aktivitäten in diesem Bereich.[389] In deren schließlicher Folge verkaufte die AT&T WEAF an die RCA (1926) und diese weiter an die neugegründete NBC (1926) und erhielt dafür das Monopol über die Übertragungsnetze *zwischen* den Sendern.

Obwohl Pressionen aller möglichen Art diese Entwicklung beeinflußt hatten, stand sie im Einklang mit der zur gleichen Zeit erfolgten unternehmerischen Konzentration der AT&T auf den Fernsprechbereich der USA und ihrer internen Neugliederung. So hatte die dann erfolgte Aufteilung des US-Rundfunkwesens in Programmgesellschaften (wie NBC) , Produktionsunternehmen für Sender- und Empfängertechnik (wie RCA, General Electric und Westinghouse) und die AT&T für die Übertragungsnetze[390] durchaus tiefere Berechtigung, als lediglich das mehr oder weniger zufällige Resultat von Patent- und Antitrustprozessen zu sein. Die folgende Charakterisierung dieser Entwicklung trifft daher durchaus einen für diese Untersuchung wesentlichen Aspekt:

> »it was evident, that radio was not only a communication enterprise, but was also largely an entertainment business. What is more, it did not seem possible to separate this part of the business from the commercial operation of a radio station, and Bell management began to question the appropriateness of their continuing the entertainment aspects of the project.« (Fagen; 1976:436)

Das besondere war bei dem Rundfunk, daß die Probleme der Programme institutionell wie inhaltlich über die Nachrichtentechnik hinausführten.

Es ist daher kein Wunder, daß die Theorienbildung an dieser Stelle in die Soziologie hinübergriff und das kommerzielle Rundfunkwesen der USA in den 30er Jahren eine der historischen Wurzeln der

---

[388] zitiert nach Fagen (1976:428 f.) Eine fast gleichlautende Darstellung der AT&T-Haltung zum Rundfunk findet sich auch in A.H. Griswold, »The Radio Telephone Situation« (1922:9)

[389] Ausführlich wird diese Entwicklung von MacLaurin (1949) und (aus der Sicht eines ehemals auf seiten der AT&T daran Beteiligten und mehr mit Schwerpunkt auf dem Sender WEAP)von W.P. Banning (1946) geschildert.

[390] Nicht zu vergessen, die Federal Communications Commission (FCC), nach 1934 für die technische Gesamtkoordinierung, Aufsicht und Vergabe von Sendel izenzen zuständig – ein Bereich, der in Deutschland von der Post verwaltet wurde.

soziologischen Kommunikationsforschung wurde.[391] *Wo die Verbreitung von Programmen verkauft wurde, verlangte der nichttechnische Aspekt der Forderung nach großer Programmreichweite nach einer Hörerforschung als Marktanalyse.*[392]

Soziologische Kommunikationstheorie und Nachrichtentheorie sind daher durchaus in ihrer Entstehung funktional analoge Theorien in den sich entsprechenden Effizienzproblemen unterschiedlicher Techniken.

2.4.5 DAS FERNSEHEN

Das Fernsehen, hervorgegangen aus Telegrafie und Rundfunk, war eine Technik, deren Bandbreitenbedarf wieder weit über das hinausging, was an Übertragungskapazitäten mit Hinblick auf die anderen Techniken entwickelt worden war.

Zu dem Problem der Bandbreitenreduktion, wie es bereits die klassische Telegrafie, Telefonie und Rundfunk in den 30'er Jahren gekannt hatten, kamen beim Fernsehen weitere, der klassischen Telegrafie verwandte Probleme auf neuem Niveau hinzu:

Impulsfolgegeschwindigkeit, Codierung, Synchronisierung und Leistungsbewertung verschiedener Systeme.

Bereits 1929, wie auch zu Beginn der 40'er Jahre, inspirierte das Fernsehen die Wiederaufnahme des Hartley'schen Informationskonzeptes.

2.3.4.1 ENTWICKLUNG

Das Fernsehen wurde als technische Aufgabe, die prinzipiell mit den Übertragungsmitteln der Telegrafie lösbar sein mußte, sehr früh erkannt.[393] Bildtelegrafische Übertragungen begannen in den frühen zwanziger Jahren 1923/24,[394] erste Fernseh (TV)-Versuche Ende der zwanziger Jahre.[395]

---

[391] neben Filmindustrie und Kriegspropagandastudien im 1. WK – nach Lazarsfeld (1963)

[392] Daß sich in Deutschland nichts der soziologischen Kommunikationsforschung Vergleichbares entwickelt hat, kann einen, zumindest was deren Ursprung aus der Hörerforschung im Rundfunk angeht, keineswegs überraschen – wenn man die unterschiedliche Organisation des Rundfunkwesens in den USA und Deutschland in Rechnung stellt (was z. B. Reimann 1968:26f. der dieser Frage vergeblich nachgeht, nicht tut).
In Deutschland hatte sich aus der ersten Präsentationsform des Rundfunks, vor zahlenden Hörern in geschlossenen Auditorien, die Rundfunk-Finanzierung durch die Hörer entwickelt. Diese hat sich bis auf den heutigen Tag erhalten, obwohl die *technische* Unsinnigkeit dieser Präsentationsform sich schnell herausgestellt hatte (Giesecke; 1930:62).
Der »fundamentale Unterschied« (Sell ; 1937/38:72 ff.) des amerikanischen Systems zum deutschen war, daß dort die an der Verbreitung von Programmen Interessierten das ganze System finanzierten. Deren Gebühren an den Sender richteten sich nach der sozialen Reichweite der Programme:
»Da der amerikanische Rundfunk wegen seiner privatwirtschaftlichen Konstruktion bestrebt sein muß, mit seinen Sendungen (besonders den Werbesendungen) einen möglichst großen Hörerkreis zu erfassen, werden von allen Sende-Gesellschaften aufgrund von Zuschriften, Verkaufsergebnissen usw. sehr sorgsame Untersuchungen über die Hörerdichte und -zusammensetzung vorgenommen« (JB Weltrndfnk; 1937/38:147). Richteten sich die Gebühren in den USA nach der Programm-Reichweite, so richtete sich die Verteilung der von den Hörern in Deutschland gesammelten Beiträge nach den *(technisch definierten)* Abstrahlungsbereichen der Sender. Gezielte finanzielle Reaktionen waren mit dem System der Hörer-Finanzierung auf einzelne Programmteile (-reihen, -zeiten etc.) prinzipiell gar nicht möglich, sondern nur ein mehr oder weniger fester Aufteilungsmodus dieser Gebühren.

[393] Es kann an dieser Stelle nicht die Aufgabe sein, die technische Entwicklung des Fernsehens näher zu beschreiben. Dies ist bereits an anderer Stelle ausführlich getan worden: Korn (1911), für die früheste Geschichte; R. MacLaurin (1949:191 ff.) für die amerikanische TV-Entwicklung; F. Raeck (1939) und Begrich (1937) für eine ausführliche Darstellung bis zum Ende der 30er Jahre. Andere Quellen in Handbuch (1970).

Die theoretischen Übertragungsprobleme, die die Bildtelegraphie aufgab, waren dieselben wie die der Telegrafie. Die Aufgabe jedoch, sich bewegende Bilder im Gleichlauf mit der Veränderung der Gegenstände, die sie darstellten,[396] zu übertragen, fügte einige neue Aspekte hinzu. Die Basis für eine Norm der Bildfolgefrequenz, mit der solche Bewegungen festgehalten werden mußten, bildeten die Eigenschaften des Auges. Dieses konnte einander folgende Eindrücke nur bis zu einer gewissen Folgegeschwindigkeit voneinander trennen und sah sie jenseits dieser als kontinuierliche Bewegungen.[397] Im Film hatte man sich dieses Phänomen bereits zunutze gemacht.

Gegenüber der Bildtelegrafie bestand also das Problem eines fest vorgegebenen zeitlichen Limits für die Dauer des Aufbaus eines Bildes. Etwa 30 Bilder mußten es pro Sekunde sein.[398] Für die Übertragung heißt dies, daß gegenüber der Bildtelegrafie wegen der festgelegten und kurzen Übertragungszeit ein sehr hoher Bandbreitenbedarf zu erwarten war. Er entsprach dem Frequenzbedarf (für einen TV-Kanal) von 1000 Telegrafie-, 30 Fernsprech- oder 10 Rundfunkkanälen.[399]

Die Schaffung geeigneter Übertragungseinrichtungen war daher eins der wichtigsten technischen Programme innerhalb der TV-Entwicklung. Mitte der 30'er Jahre war die Schaffung der Koaxialkabel ein Resultat dieser Anforderungen.[400]

Wegen des hohen Bandbreitenbedarfs und der teuren Endgeräte waren Fernsehübertragungen sehr teuer.[401] Nach vielen Versuchen, zwei-Weg TV-Systeme aufzubauen, im Zusammenhang mit der Telefonie, zeigte sich, daß allein das Programm die Nachrichtenform war, die das TV tragen konnte.[402] *Allein der Rundfunkbetrieb des TV hatte daher reale Chancen.*

Als die technische Reife derartiger Systeme erreicht war und die kommerzielle Nutzung in großem Umfang hätte beginnen können unterbrach der Zweite Weltkrieg alle derartigen Arbeiten.[403] 1941 gab es ein paar Hundert Empfänger in den USA,[404] 1945 gab es 9 im TV aktive Sender und etwa 10.000 Empfänger.[405]

Die Nachkriegszeit, versehen mit den neuen HF-Techniken der Kriegsentwicklungen, brachte den ersten Boom des Fernsehens. Bereits Ende 1950 gab es 6 Millionen Empfänger und Ende 1948 (vor einem vorläufigen Stop zur Adjustierung der Frequenz-Regionen), 54 Stationen, 70 weitere Konzessionen und 310 weitere Anträge darauf in den USA.[406]

---

[394] 1924 – Bildübertragung Cleveland – New York (O'Brien; 1924:186) Der öffentliche Bildtelegraphendienst wurde in Deutschland am 1.12.1927 zwischen Berlin und Wien aufgenommen, 1930 kam der Überseeverkehr hinzu, bis 1939 gab es 19 Bildstellen in Deutschland (Sautter; 1951: 227)

[395] 1929 begannen Versuche der deutschen Telehor AG und des Reichspostzentralamtes, ab 27.1.1930 gab es tägliche Sendungen. (Kunert; 1930/31: 234)

[396] Drei Signalkomponenten waren es beim Fernsehen, *Ton*, *Bild* und *Synchronisierung* von Sendung und Empfang. Deshalb war das Fernsehen ein »lock and key service«, der genaue Abstimmung zwischen Sender und Empfänger verlangte – eine Eigenschaft, die es mit der klassischen Telegrafie teilte. Für den kommerziellen Betrieb ergab sich das Problem der Normierung der Verfahren. (Baker; 1945:154)

[397] Dieses findet sich z.B. bei Begrich (1937:30 f.) erörtert 123 Hugh, Best (1944:8)

[398] Hugh, Best (1944:8)

[399] In, »Ein amerikanischer Fachman über das Fernsehen und seine Zukunft« wird BTL-Präsident F.B. Jewett in Fernsehen 1; 1930, 7: 322 mit diesen Angaben zitiert.

[400] für das Bell System: MacLaurin (1949:197), denn dieses war für die Sendernetze in den USA zuständig.

[401] darauf weist besonders Jewett (1930:323) hin

[402] So in R. Thun, »Die Bedeutung des Programms für eine Erfolg des Fernsehens« (1932)

[403] So in MacLaurin (1949:196) und McHugh, Best (1944:7) für die BTL-Aktivivi täten in TV.
In Deutschland war gerade auf der 16. Funkausstellung im August 1939 der »Fernsehrundfunkempfang für die Allgemeinheit in Deutschland . . freigegeben« worden. Damit wurde »bekundet, daß die technisch-wissenschaftliche Entwicklung auf dem Fernsehgebiet einen gewissen Abschluß erreicht hat.« (F. Gladenbeck; 1939:9)

[404] MacLaurin (1949:196)

[405] Baker (1945:154)

2.4.5.2 PROBLEME

Theoretische Probleme, die sich u.a. ergaben, waren die Abhängigkeit der Übertragungsfrequenzbandbreite von der Bildfolgefrequenz – diese war aber innerhalb gewisser Grenzen physiologisch vorgegeben – und von Auflösung und Größe des TV Bildes.

In einer 1929 erschienenen Arbeit wendete J.W. Horton, ehemals Mitarbeiter R.V.L. Hartleys in der Abteilung »Transmission Research« der BTL und Kolektor des von beiden 1926 am M. I .T. gehaltenen Seminars, in dem die Grundgedanken von Hartleys Informationskonzept vorgestellt worden waren,[407] dieses Konzept auf die Probleme des TV an. (»The electrical Transmission of Pictures and Images«).

Als Grundlage für das oben erwähnte Problem des Zusammenhanges zwischen F-Bandbreite einerseits und Auflösung und Bildgröße andererseits bot sich die Zahl der Bildpunkte in der TV-Bildfläche und deren Größe an:

> »lt is apparent, that in any picture transmission system the amount of information is related to the *number of discrete elementary areas* which are to be recognized.«

und

> »it is necessary to examine with some care the *magnitude* which the *individual areas* may be permitted to have.« (Horton; 1929:1544)[408]

Diese beiden Aspekte, des Aufbaus der Signalelemente und ihres Kontextes in einem Kollektiv, waren später ein guter Teil dessen, was sich als Statistische und Signalanalytische Kommunikationstheorie nach dem Zweiten Weltkrieg gegenüberstanden.[409]

In der Folge seiner Untersuchung zitierte Horton das Hartleysche Gesetz der Relation von Information, Zeit und Bandbreite und stellte für das TV-Problem fest:

> »In the case of picture transmission the number of elementary areas serves as a measure of the amount of information.« (Horton; 1929:158)

Hier bot sich eine einfache Möglichkeit, die Information zu quantisieren – im Gegensatz etwa zur Telefonie. Dieses zweidimensionale Maß des »Nachrichteninhaltes« erläuterte Horton in seinem Verhältnis zu anderen Techniken:

> »lt is perhaps unusual to compare the amount of information represented by a picture with the amount of information represented by a sequence of sounds. There are today, however, so many mechanical means for recording each of these that it is possible to find several common measures. Perhaps the most striking is the recently developed talking motion picture film.« (Horton; 1929:1549)

Diese Äußerung ist interessant, weil sie anschaulich unterstreicht, wie sehr *einheitliche theoretische Konzepte auf der technischen Übersetzbarkeit verschiedener Nachrichtentechniken ineinander beruh-*

---

[406] Fink (1951:119 f.)
[407] vergl . II.3.1.1.
[408] Hervorhebung – F.H.
[409] vergl . III .3

ten: hier Tonfilm, später PCM. Obwohl vergleichbare Fragestellungen in der TV-Diskussion immer wiederkehrten,[410] spielte Hartleys Informationsbegriff dafür keine Rolle mehr.

Es war vor allem der hohe Bandbreitenbedarf der TV-Übertragung, der immer neue Vorschläge stimulierte für Systeme zu dessen Reduktion. Anfang der vierziger Jahre schien es in nachrichtentechnischen Kreisen der USA angebracht, über ein Prinzip zu verfügen, das die allgemeinen Grenzen derartiger Systeme angab. *Auf diese Weise wurde Hartleys Zeitgesetz wiederentdeckt.*[411]

Von dieser Notwendigkeit der Reduktion der Bandbreite oder qualitativen Verbesserung der Übertragung beim TV war zur selben Zeit auch Shannon bereits motiviert bei der Ausarbeitung seiner Kommunikationstheorie. Er sah die Möglichkeit der Kompression von »television down to a much narrower bandwidth« bereits sehr früh,[412] »in 1940 or so«, an, als

> »one of the things that striked me as of very great commercial use« (Shannon; 1977:5/10 ff.).

2.5 DIE ENTWICKLUNG DES FACHGEBIETES »FERNMELDETECHNIK«

Nachdem im vorangehenden Abschnitt die qualitativen Unterschiede der Techniken der Nachrichtenübermittlung und deren Entwicklung im einzelnen diskutiert wurden, soll hier der Versuch gemacht werden, anhand quantitativer Indizes die unterschiedliche Rolle dieser Techniken in der nachrichtentechnischen Diskussion der Zeit abzuschätzen. Dabei stellt sich heraus, daß die Zeit zwischen den Weltkriegen nicht nur durch die qualitative Abfolge verschiedener Techniken gekennzeichnet wurde, sondern daß jede dieser Techniken unterschiedliche Stadien der Entwicklung durchlief, die hier nur insoweit interessieren, als die Bedeutung genereller theoretisch/technischer Analysen der jeweiligen Technik sich mit ihnen wandelte.

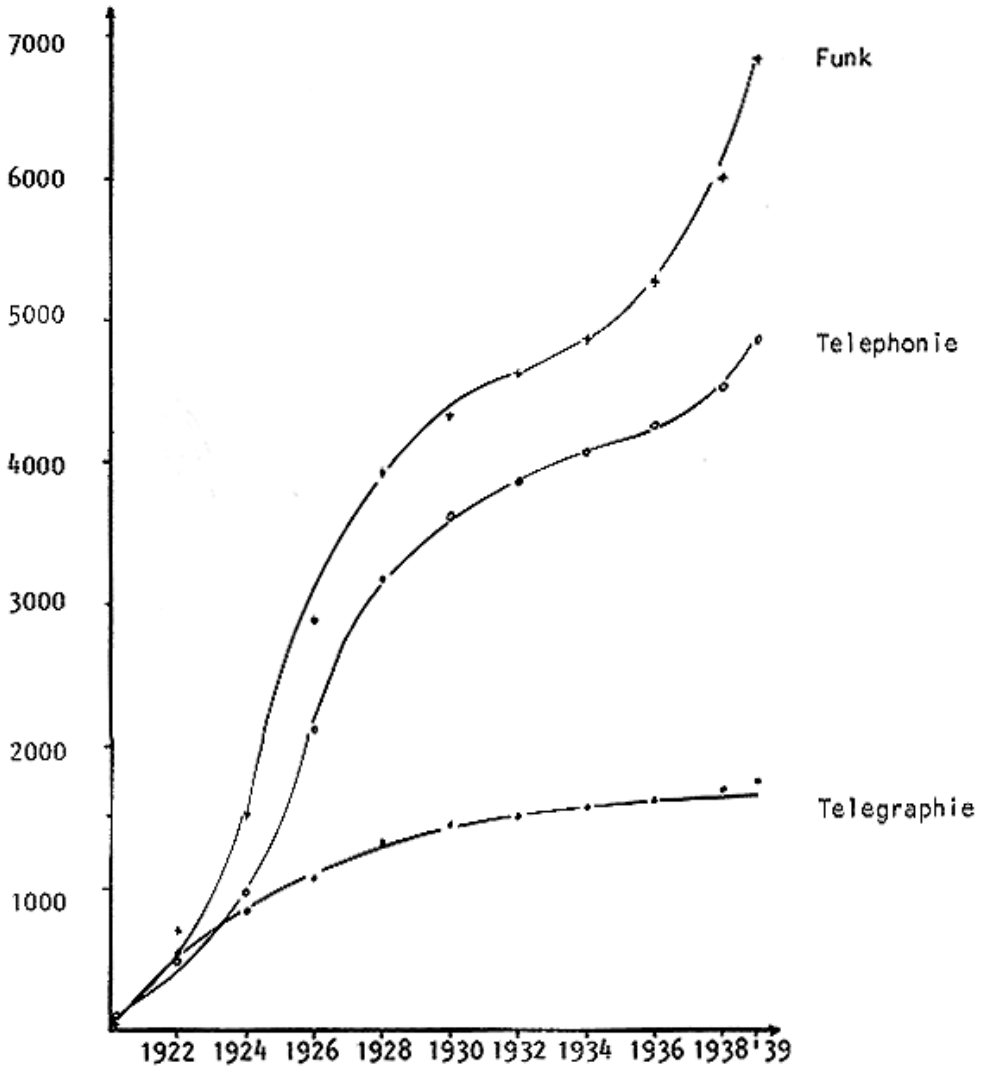
Der Index, der den direktesten Zugang zu einer quantitativen Beurteilung der nachrichtentechnischen Diskussion gestattet, ist die Zahl der in diesem Gebiet publizierten Aufsätze. Diagramm 4 zeigt die kumulative Zahl der in Telegrafie, Telefonie und Funktechnik zwischen 1920 und 1939 publizierten Aufsätze, zusammengestellt aus den Angaben in drei deutschen Bibliographien, die die gesamte internationale Diskussion verfolgten.[413] Deutlich geht daraus die Stagnation der Arbeiten zur Telegrafie hervor, während die Publikationszahlen zu Funk und Telefonie ständig weiterwachsen (der Knick in den entsprechenden Kurven nach 1929 kann ein Artefakt sein, da für 1928 eine andere Bibliographie herangezogen wurde als vorher, für 1929 die Werte geschätzt wurden und ab 1930 wieder eine andere Bibliographie herangezogen werden mußte, deren Vollständigkeit aber erheblich reduziert war). Die wissenschaftssoziologisch übliche Phaseneinteilung für die Entwicklung eines Gegenstandsbereiches nach den Abschnitten der entsprechenden logistischen Wachstumskurve (z. B. Crane; 1972:172) läßt sich daher mit Sicherheit nur auf die Entwicklung der Telegrafie[414] anwenden. Diese müßte sich demnach in Phase 3 bis 4 in dieser Zeit befunden haben, den Phasen, in denen (nach Crane) die generellen Probleme gelöst sind und die Stagnation merkbar zu werden beginnt. Während sich diese Aussage in der Wissenschaftssoziologie aber allein auf die inhaltliche Eigendynamik bezieht, sind hier entscheidend für die Theorienbildung externe Leistungen der Technik. D. h. bestimmte Fragestellungen hören aufgrund externer Entwicklungen auf, Probleme darzustellen – obwohl sie weiter als theoretische Fragen existieren (wie es weiter oben am Beispiel der Telegrafiergeschwindigkeit gezeigt wurde). Hier

---

[410] So z. B. in einer VDE-Vortragsreihe, »Gesamtdarstellung des Fernsehens« (1936) und F.von Okolicsanyi, »Fernsehen und Rundfunkfrequenzband« (1930) oder H.E. Ives, »Picture Transmission and Television« (1932)
[411] vergl. II.3.2.7
[412] vergl. II.1.3.4
[413] vergl . Anhang III
[414] aufgefaßt als ein Fachgebiet

ist diese Kurve also Wirkung der *technischen Erschöpfung des Mediums Telegrafie* aufgrund der engen Kopplung der Forschung an die Technik in der Industrieforschung. Behält man dies im Auge, daß nämlich in der Technik theoretische Probleme auch auf andere Weise verschwinden können, als durch ihre ›theoretische Lösung‹ so kann man ein solches Gebiet für die quantitative Analyse behandeln, als, ob es innerer Dynamik folge. Tatsächlich erschien die Mehrheit der frühen Nachrichtentheorien zwischen 1922 und 1930 und war vor allem mit Problemen der Telegrafie befaßt.

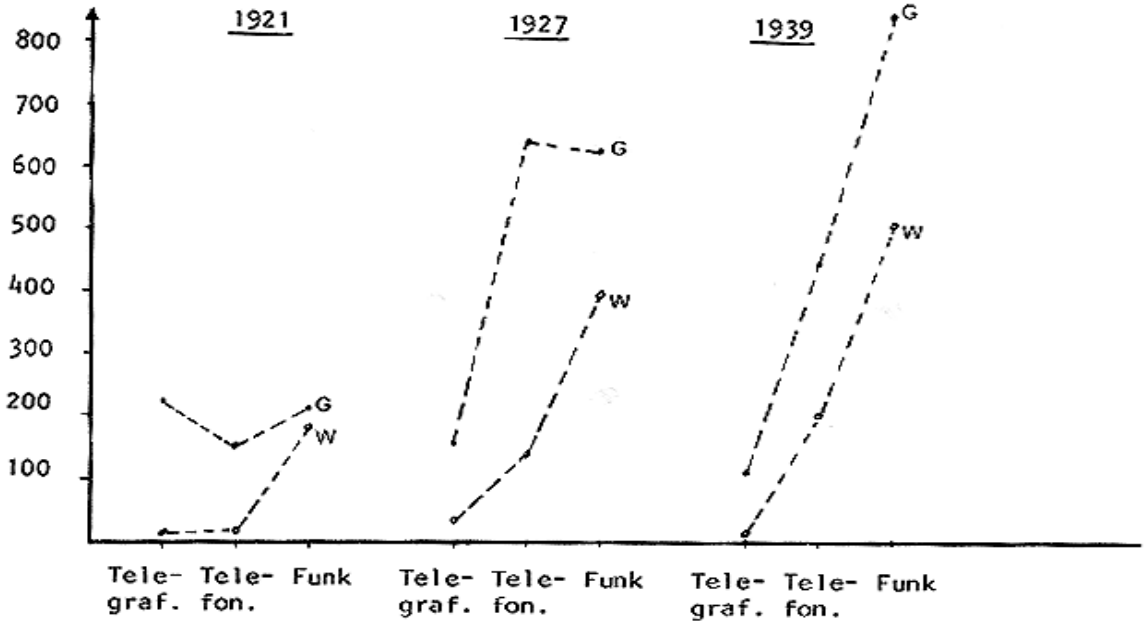
DIAGRAMM 4: Kumulative Zahl der Publikationen in Telegrafie, Telefonie und Funktechnik 1920-1939



Viel mehr Aussagen lassen sich mit dieser Integraldarstellung der Publikationsaktivitäten in den drei Gebieten nicht treffen.

Um die Abfolge von unterschiedlichen Entwicklungsphasen der drei Techniken etwas genauer beurteilen zu können, ist es sinnvoller, sich die Änderung des Wissens in den drei Techniken genauer anzusehen und den Umfang der jeweiligen Gesamtdiskussion. Eine Möglichkeit, dies quantitativ zu tun, bietet der – für 1921, 1927 und 1939 durchgeführte – Vergleich der Angaben in *unterschiedlich konzipierten Bibliographien*, zweier deutscher und einer englischsprachigen. Während die englische Bibliographie in Gestalt einer Abstrakt-Zeitschrift (Science Abstracts, Se.B, Electrical Engineering) mit ihren ausführlicheren Besprechungen gezwungen ist, sich auf den von den Rezensenten der damaligen Zeit für wesentlich erachteten Teil der Gesamtmenge nachrichtentechnischer Veröffentlichungen zu konzentrieren, auf wissenschaftlich/elektrotechnische Originalarbeiten,[415] geben die deutschen Bibliographien (Jahrbuch der Elektrotechnik; 1921 u. 1927 und Schriftenschau der RPF; 1939) weit kürzere Kommentare zu den einzelnen Arbeiten bzw. führen einen großen Teil der Titel lediglich an und streben größere Vollständigkeit an. Die Angaben in diesen Bibliographien geben eher die Gesamtdiskussion eines Gebietes wieder, da sie zusätzlich zu den wissenschaftlich/technischen Originalarbeiten Rezensionen, Übersetzungen, technische, historische, geographische und statistische Übersichten, Kongressberichte, Betriebs-, Anwendungs-, Bau-, Apparate- und Wirtschaftsberichte verzeichnen. Ein Artikel, der in den Science Abstracts einmal besprochen und erwähnt ist, findet sich daher in den deutschen Bibliographien in seinen reflektierten, kommentierten, übersetzten oder abgewandelten Fassungen zumindest erwähnt. Die Zahlen der in den Science Abstracts verzeichneten Arbeiten werden daher als Index der Produktion neuer wissenschaftlich/technischer Erkenntnisse des Gebietes aufgefaßt, die entsprechenden Zahlen aus den deutschen Bibliographien als Index der Ausmaße der Gesamtdiskussion. Wie Diagramm 5 zeigt, ist das Verhältnis dieser Angaben für die drei Techniken keineswegs linear, sondern zu den drei unterschiedlichen Zeitpunkten in charakteristischer Weise verschieden.

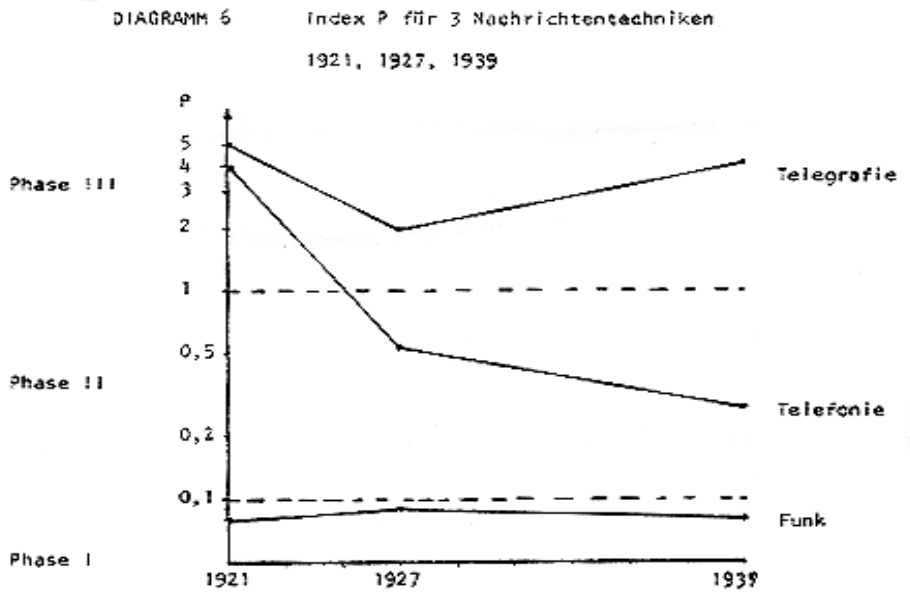
DIAGRAMM 5: Anzahl der Publikationen in der NT 1921, 1927 u. 1939
nach JBET, Schr.sch.RPF und Science Abstr.B



[415] Die entsprechende Abstract Politik wird von C.C.P., »On our abstracting service«, in J.IEE 92,I;1945,58:367 erläutert.

Aus diesen Angaben wird zunächst ein Index P ermittelt, den man als den Prozentanteil der Differenz zwischen Gesamtdiskussion (G) und Wissensproduktion (W) an der Gesamtdiskussion, bezogen auf den absoluten Stand der Wissensproduktion interpretieren kann:

$$P = \frac{G - W}{G \cdot W} \cdot 100$$



In Diagramm 6 ist dieser Index über der Zeit logarithmisch aufgetragen. Hiermit lassen sich nun ganz deutlich, zunächst rein formal 3 Phasen unterscheiden: Phase I für P unterhalb von 0,1; Phase II für P zwischen 0,1 und 1 und Phase III für P größer als I . Für den Stand der einzelnen Techniken zu den verschiedenen Zeiten ergibt sich damit:

1921: Telefonie und Telegrafie in Phase III, Funk in Phase

1927: Telefonie in Phase II, Telegrafie in Phase III und Funk in Phase I

1939: hat sich an dieser Verteilung nichts geändert, nur innerhalb der Entwicklungsphasen gab es Bewegungen.

Nach diesem Quotienten P heißt Phase I eine geringe Differenz zwischen Gesamtdiskussion und Wissensproduktion bei hohem absoluten Niveau und Phase III heißt eine große Differenz zwischen beiden bei relativ geringem absoluten Niveau, d. h. bei geringer Wissensproduktion eine umfangreiche allgemeine Diskussion. Man sollte annehmen, daß ein solcher Zustand eines Gebietes für erhöhte Chancen genereller Theorienbildung spricht – vorausgesetzt, ein Mindestmaß an Veröffentlichungen ist erreicht. Diese Phase III entspricht darin, wie auch in ihrer zeitlichen Zuordnung zur Telegrafie der Phase 3 bis 4 in der logistischen Kurve der kumulativen Publikationszahl.

Darüber hinaus läßt dieses Diagramm jedoch noch einige weitere Aussagen zu.[416] Im gesamten Zeitraum bewegte sich die Funktechnik in der Phase I (an der Grenze zu II), während die Telefonie eine Bewegung von Phase III im Anfang der zwanziger Jahre in Phase II danach durchlief.

Um diese Ergebnisse zu interpretieren, soll noch einmal an die Geschichte der einzelnen Techniken erinnert sein. Danach ist es offenkundig, daß sich die Telegrafie im gesamten Zeitraum in einer Phase der Stagnation befindet und 1939, gleichzeitig in der Anfangsphase des Ausbaus der Fernschreibsysteme.[417] Für die Telefonie ist deutlich, daß Anfang der zwanziger Jahre alle Detailprobleme gelöst sind, deren danach umfangreich einsetzende Auswirkungen (vor allem der Verstärker- und Filtertechnik) das immense Wachstum der Netze in *Ausdehnung* und *Verdichtung* mit sich bringt und die Gebiete Übertragungstechnik, Akustik, Elektroakustik, Schaltungstechnik und Entstörung (durch Verdichtung der eigenen und Wachstum anderer elektrischer Netze notwendig geworden) aktiviert: auf der Übertragungsebene abgeschlossen,[418] expandierte die Telefonie auf der Systemebene des Netzes neu.

Für den Funk ist es deutlich, daß Anfang der zwanziger Jahre bei noch relativ geringen Anwendungen und wenig existierenden Betriebseinrichtungen eine Frühphase der Erprobung der Technik herrschte, die im Grund die gesamte Zeit bei Übergang zu immer neuen Wellenbereichen und der vollständigen Auslagerung der Behandlung vieler Betriebsaspekte aus dem technisch-wissenschaftlichen Bereich anhielt.

Der absolute Betrag der Gesamtdiskussion stieg zwar rapide, die Differenz zwischen G und W war 1939 in der Funktechnik die größte von allen, aber die Produktion neuen Wissens stieg ebenfalls ständig weiter. Auch in diesem Bereich wurden laufend Bereiche aus der Funktechnik klassifikatorisch ausgegliedert, wie das Fernsehen, Elektronenröhren etc.[419]

---

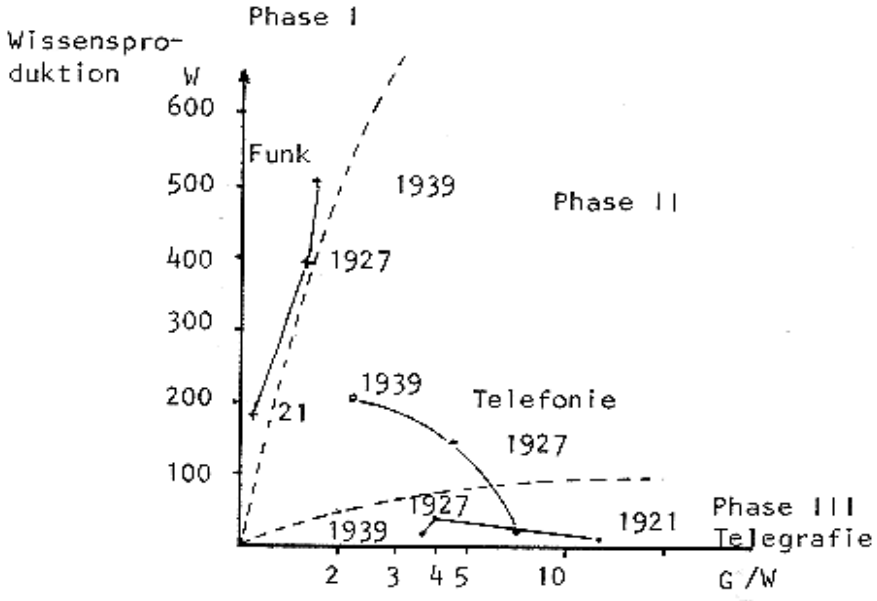
[416] Ebenso vermeidet diese Methode der Auswertung auf der Basis der Differenz zwischen zwei unterschiedlich konzipierten Bibliografien auch die Kritikpunkte, wie sie von Solla Price (1963:65 ff.) oder Bühl (1974: 131) an der logistischen Kurve geübt wurden – betreffend die unterschiedlichen Funktionen all der Artikel, die in der logistischen Kurve einfach aufsummiert wurden, für die wissenschaftliche Gemeinschaft.

[417] Daß bereits zu dieser Zeit und später die Telegrafie, d. h. die Fernschreiberei erneut eine große Rolle spielen sollte, geht in diese, auf *Veröffentlichungen* basierende Analyse nicht ein.
Für die Kriegszeit würde eine solche Analyse zu einer völligen Verzerrung des Standes der tatsächlichen Diskussion führen, die sich außerhalb der dann zugänglichen Publikationen bewegte.

[418] So stellte z. B. Salinger (JBET; 1927:189) im Resume der Telefonie-Literatur fest, daß »die Theorie der Stromvorgänge auf metallischen Leitungen als ziemlich abgeschlossen gelten kann«. Die neuen Probleme seien vielmehr durch die Fernkabelnetze, deren Ausbau und Beeinflussungen durch andere, gleichfalls wachsende elektrische Netze bestimmt (ebd.)

[419] vergl. dazu Dallinger (1939)

DIAGRAMM 7: Entwicklungsphasen der Publikationstätigkeit zu den drei Techniken Telegrafie, Telefonie, Funk 1921-1939



Es ist also durchaus angebracht, diese Phasen als Frühphase (I), Wachstumsphase (II) und Sättigungsphase (III) grob zu klassifizieren.

Bevor diesen, extern, am Verhältnis der Gesamtdiskussion zu der Menge der in ihm tatsächlich neuproduzierten wissenschaftlich/elektrotechnischen Erkenntnisse ermittelten Entwicklungsstadien eines Gebietes Veränderungen in der inhaltlichen Struktur (also innerhalb des Anteils neuen Wissens) zugeordnet werden, soll die Entwicklung der einzelnen Techniken noch einmal anschaulicher dargestellt werden.

In Diagramm 7 ist die Wissensproduktion über dem (logarithmisch dargestellten) Verhältnis von Gesamtdiskussion zu Wissensproduktion aufgetragen. Entsprechend den vorhergehenden Überlegungen sind darin die Phasen I bis III eingezeichnet. Für jede Technik ergibt sich dann die Kurve ihrer zeitlichen Entwicklung. Der Vorteil dieser Methode der Phaseneinteilung ist, daß man sie allein aufgrund *zeitgenössischer* Reflexionen der Publikationstätigkeit vornehmen kann, und nicht, wie bei der Methode der kumulativen Darstellung erst im nachhinein. Was dies für die inhaltliche Beurteilung eines Gebietes sagt, wird weiter unten diskutiert. Diese Methode der Phaseneinteilung birgt darüber hinaus einige Implikationen für sehr große Werte von W und G/W, die im Zusammenhang mit dem Zwang zur Umklassifikation und Aufteilung zu großer Gebiete betrachtet werden müssen. Dies soll jedoch hier nicht weiter diskutiert werden, da für den Zweck der Beurteilung dieser zeitlich und inhaltlich begrenzten Entwicklung das Verlangte bereits geleistet wird.

Der Untersuchungszeitraum ist also durch die folgenden Phasen der drei Techniken gekennzeichnet: PhaseIder Funktechnik und Phase III für Telegraphie und Telephonie bis Mitte der 20’er Jahre.

Nach dem Ende der zwanziger Jahre »explodiert« das Gebiet.[420] 1929 erscheint – entstanden noch im Lichte der »Verschnaufpause« in der Entwicklung von Telegrafie und Telefonie in den Jahren zuvor – ein »Handwörterbuch des elektrischen Fernmeldewesens«, das letztmalig für 40 Jahre das gesamte Gebiet umfaßt.[421] Eine zweite Auflage erscheint 1970!

In eben dieser Zeit erscheinen die ersten allgemeinen Nachrichtentheorien bzw. Theorien der Telegrafie (Hartley; 1928, Nyquist; 1928, Nyquist; 1924). Ab dem Ende der zwanziger/Beginn der dreißiger Jahre ist die Fernmeldetechnik durch Phase III in der Telegrafie – die an der Diskussion in der NT aber nur noch verschwindenden Anteil hatte -, Phase II in der Telefonie und I in der Funktechnik gekennzeichnet. – Wenn man in Diagramm 7 die jeweiligen Kurven verfolgt, bewegt man sich entlang der Zeitachse.

Daß nach dieser Zeit neue Ansätze zu generellen geschlossenen Theorien nicht unternommen werden, kann kaum überraschen, denn die dann die NT beherrschenden Gebiete verändern sich in ihrem wissenschaftlich/elektrotechnischen Kern noch bzw. wieder zu schnell. Daß hin und wieder in dieser Zeit bereits vorhandene Ansätze – wie der Hartleys – diskutiert wurden, widerspricht dem nicht. Ohnehin sind diese Versuche nicht sonderlich erfolgreich, da *zu viele neue Phänomene* auftauchen, wie z. B. der Vokoder[422] oder die Neubewertung der Frequenzmodulation,[423] mit denen derartige Erweiterungen älterer Theorien schnell wieder in Frage gestellt wurden.

---

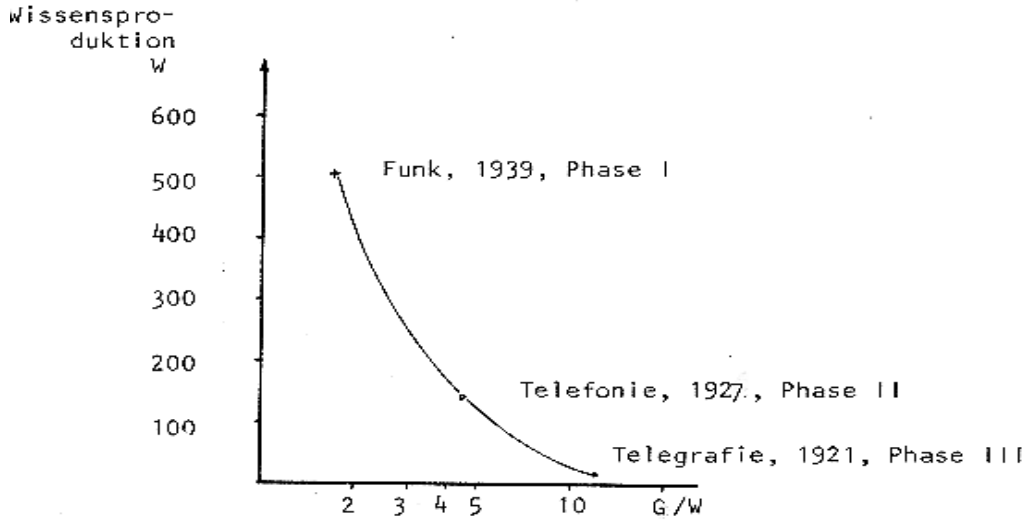
[420] Das jährlich erscheinende »Jahrbuch der Elektrotechnik« stellte 1929 mit der Ausgabe für das Jahr 1927 – sein Erscheinen ein und erschien in Zeitschriftenform als Teil der »Technische Zeitschriftenschau« weiter, bei radikaler Reduktion der Vollständigkeit ab 1929. So hoffte man einen »Weg durch die Papierflut« (Vorwort in JBET 14; 1929, 1:1) bahnen zu können. Diese institutionelle »Verzeitlichung« sei mit einem Zitat aus dem Vorwort der letzten Ausgabe des JBET illustriert (JBET 16; 1927:v): »Die trotz aller Bemühungen unvermeidlich scheinende, sogar wachsende Verspätung in der Herausgabe, die mit dem jährlichen Erscheinen verknüpft ist, hat das im übrigen von allen Seiten als nützlich anerkannte Buch so stark entwertet, daß eine andere Erscheinungsform gesucht werden mußte, um den beabsichtigten Zweck zu erreichen.« In anderen Bibliografien »explodieren« zu dieser Zeit die Klassifikationen: so geht man ab 1929 in den Science Abstracts, Ser.B, Electrical Engineering von der Einteilung nach Sachgebieten zu der alphabetischen über. Andere, wie die »Zeitschriftenschau der RPF« reduzieren die Berichtlänge drastisch.

[421] Als Teile des Gesamtgebietes des elektrischen Fernmeldewesens werden darin angeführt:
»Allgemeine physikalische Grundlagen, theoretische Elektrizitätslehre, Schaltungslehre, Telegraphen-, Fernsprech- und Funktechnik (einschl. des Eisenbahnsignalwesens und der Bergwerks- und Schiffstelegraphie), Linien- und Leitungsbau, Betrieb der Fernmeldeanlagen, Telegraphenund Fernsprechordnungen, Tarifgrundsätze und Tarife, Rechtswesen, Statistik, Organisation des Fernmeldewesens in den Ländern der Erde, zwischenstaatliche Beziehungen, geschichtliche Entwicklungen.« (Handbuch; 1929; 1:1)

[422] vergl . II.3.3

[423] vergl. II.2.4.3

DIAGRAMM 8: Die Entwicklungsphasen der 1921, 1927 und 1939 die nachrichtentechnische Publikationsaktivität dominierenden Techniken



In Diagramm 8 ist die Darstellung aus Diagramm 7 noch einmal vereinfacht. Hier sind für 1921, 1927 und 1939 nur jeweils die Techniken aufgeführt, denen *die meisten* Publikationen galten: 1921 die Telegraphie in ihrer Phase III (die Funktechnik liegt zwar sehr nahe unter der Gesamtzahl der Arbeiten zur Telegraphie, aber man muß berücksichtigen, daß der Funk zu dieser Zeit noch unter »Telegraphie ohne fortlaufende Leitungen« abgehandelt wurde), 1927 die Telefonie in ihrer Phase II (zu dieser Zeit erschienen die abschließenden theoretischen Arbeiten in der Telegrafie) und 1939 der Funk in Phase I.

Der Trend der Publikationstätigkeit verlief also nicht einfach von Telegrafie über Telefonie zur Funktechnik, sondern von einer relativ gesättigten Phase III über eine Phase II, mit sich schneller ändernden Kern wiss./techn. Erkenntnisse in Richtung auf eine Phase I mit noch weit rapideren Änderungen.

> Die Abfolge unterschiedlicher Techniken hatte damit genau einen entgegengesetzten Effekt, als man ihn innerhalb der Entwicklung von nur einer Technik hätte erwarten müssen, nämlich von einer gesättigten Phase zu einer Frühphase großen Wachstums und schneller Veränderung des Bekannten.

Es ist bereits an dieser Stelle zu vermuten, daß diese Entwicklung mit einer von mehr allgemeinen Gesamtsichten zu der Lösung speziellerer Detailprobleme auf der Ebene der Theorie einherging.

Dieser Vermutung soll in folgendem etwas näher nachgegangen werden.

Zu diesem Zweck wurden die Gesamtpublikationen der drei Techniken nach inhaltlichen Kriterien aufgeschlüsselt, um dort eventuell auftauchende Verschiebungen aufzeigen zu können. Es handelt sich dabei um eine Aufteilung nach Teilbereichen (der in den deutschen Bibliographien verzeichneten Publikationen), während oben nach der wissenschaftlich/technischen Originalität (zwischen den Angaben in *verschiedenen* Bibliographien) unterschieden wurde.

Die Frage ist jetzt also, ob diesen rein extern-quantitativ bestimmten Stadien der Entwicklung der drei Gebiete auch *inhaltlich* bestimmte Entwicklungen entsprechen, ob und in welcher Weise sich hier die Bedeutung einzelner Teilbereiche ändert. Ein solcher inhaltlicher Vergleich mit der Hypothese der Entwicklung in unterschiedlichen Phasen schafft den Zusammenhang mit den hier besonders interessierenden Bedingungen der Theorienbildung.

In Tabelle 12 sind für die drei Techniken für 1921, 1927 und 1939 die Absolut- und Prozentzahlen genereller theoretischer Arbeiten und technischer überblicke (diese sind dabei stets zusammengerechnet, da sich zwischen theoretischer und technischer Gesamtsicht eines Gebietes keine klaren Grenzen ziehen lassen) zusammengestellt. Alle mit generellen Aspekten befaßten Arbeiten sind hier aufgeführt. Für die Absolutzahlen der generellen technisch/theoretischen Arbeiten zeigt sich für alle drei Techniken ein ähnlicher Trend: das Anwachsen während der zwanziger Jahre und die Abnahme danach. Dabei ist der Anstieg für die Funktechnik, der Abfall für die Telegraphie etwas stärker. Wichtig ist jedoch, daß für Telephonie und Funktechnik die absolute Zahl genereller theoretisch/ technischer Arbeiten 1939 abgenommen hat.[424]

TABELLE 12: Anzahl und Anteil genereller theoretischer und technischer Überblicke und Konzepte Telegrafie, Telefonie, Funk

Technik	1921		1927		1939	
	abs.	%	abs.	%	abs.	%
Telegrafie	8	4%	28	19%	11	17%
Telefonie	16	10%	35	6%	29	6%
Funk	-	-	45	8%	42	5%

Der Anteil (%) bezieht sich auf die in dem jeweiligen Gebiet in dem betreffenden Jahr insgesamt publizierten Arbeiten. Die Klassifikation folgt der zweier zeitgenössischer deutscher Bibliographien (JBET, Schr. sch.RPF)

Es fällt sofort ins Auge, daß seit Ende der zwanziger Jahre der Anteil genereller technisch/theoretischer Arbeiten in der Telegrafie stets der weitaus höchste ist, 1927 bei noch relativ hohem absoluten Niveau, vergleichbar mit dem der anderen Techniken. In Funktechnik und Telephonie nehmen diese Arbeiten auch anteilsmäßig ab, d. h. mit anderen Worten, sie verlieren in diesen Gebieten an Bedeutung: nach kräftigem Anstieg nach 1921 fällt der Anteil in der Funktechnik nach 1927 ab (1921 sind solche Arbeiten für die Funktechnik noch nicht erwähnt), in der Telefonie bereits nach 1921, um nach 1927 wieder ganz leicht anzusteigen.

Die vorher geäußerte Vermutung ist damit im Bereich der mit dieser Methode erreichbaren Genauigkeiten bestätigt: die Bedeutung genereller technisch/theoretischer Arbeiten, unter denen die Gesamttheorien eines Gebietes oder die Ansätze dazu verzeichnet sind – ist am größten in der Reifephase III (Telephonie 1921: 10%; Telegraphie 1927-1939: über 17%). Bei einer Entwicklung von Phase I in Richtung Phase II wächst ihre Bedeutung (Funk 1921-1927, von 0 auf 7,6%), von Phase III zurück in Richtung Phase II nimmt sie ab (Telefonie 1921-1927 von 10% auf 5,7%).

Lediglich der niedrige Absolutwert für die Telegrafie in 1921 (4%) und der relativ hohe für den Funk in 1927 (8%) fallen aus dem Erwarteten heraus. Wie jedoch bereits an der Klassifizierung der Küpfmüller'schen theoretischen Arbeiten zur Wechselstromtelegrafie deutlich wurde, fielen zu der frühen Zeit noch viele derartige Arbeiten unter »Theoretische Elektrotechnik«, nicht unter »Telegraphie«.

Die oben vorgenommene Phaseneinteilung nach dem Verhältnis von Gesamtdiskussion zu Wissensproduktion in einem Gebiet erweist sich so als hinreichend sinnvolle Methode der Abschätzung der Chancen für allgemeine theoretisch/technische Arbeiten in einem der betrachteten Gebiete.

[424] Leider lassen sich für die Zeit um etwa 1932-35 keine Angaben machen. Vergl. Anhang III.

2.6 ZUSAMMENFASSUNG

Zwei Aspekte der Entwicklung der Fernmeldetechnik bestimmten die Zeitverschiebung in der Bildung einer Nachrichtentheorie zwischen 1928 (Hartley) und dem Beginn des Zweiten Weltkrieges:

a) die unterschiedlichen theoretischen Implikationen der 4 Nachrichtentechniken Telegrafie, Telefonie, Rundfunk, Fernsehen, die zu unterschiedlichen Zeiten die Fernmeldetechnik dominierten.

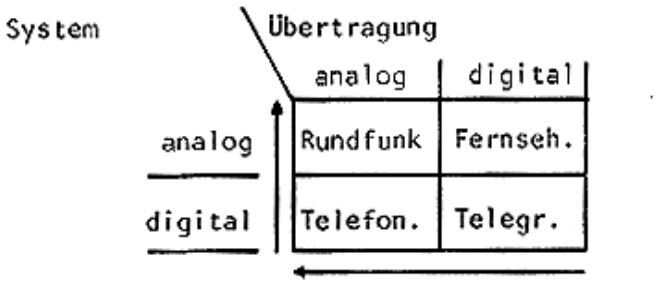
b) die unterschiedlichen Entwicklungsphasen, in denen sich diese Techniken zu den Zeitpunkten ihrer Dominanz in der fernmeldetechnischen Gesamtdiskussion befanden.

a) Zumindest 3 der 4 Techniken waren im Markt der USA separate Einheiten; sie waren technisch/theoretisch alle in ihren allgemeinen Existenzbedingungen verschieden; die Richtungen der durch sie in Gang gesetzten F+E Programme waren daher unterschiedlich.

Man kann dies noch einmal anhand der bereits angedeuteten Klassifikationsmöglichkeit der Techniken in ihre Übertragungsebene (Weg zwischen 1 Sender und 1 Empfänger) und ihrer Systemebene (technische Zuordnung zwischen den Teilen eines kompletten Systems) nach deren analoger (Zuordnung: kontinuierlicher physikalischer Vorgang) bzw. digitaler (Zuordnung: diskretes Zeichensystem) Natur.

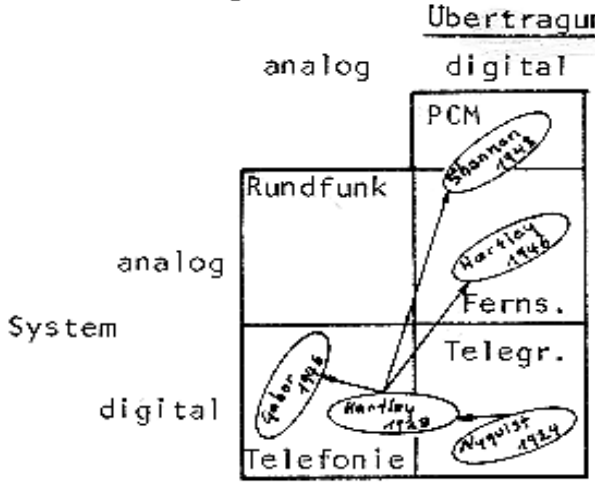
In der folgenden Matrix (Abb. 11) sind nach diesem Schema die 4 Techniken eingeordnet. Der Pfeil bezeichnet den Verlauf der Entwicklung der Fernmeldetechnik (als eines Fachgebietes), in der die jeweiligen Techniken nacheinander dominierten.

ABBILDUNG 11: Die 4 Nachrichtentechniken zwischen den Weltkriegen



Dabei wird deutlich, daß der Trend in den 30’er Jahren in Richtung der »Schwingungsforschung« mit der Bedeutung der analog/kontinuierlichen Techniken verbunden war – was nicht heißt, daß nicht auch z. B. die Schaltung (digitale Systemebene der Telefonie) in dieser Zeit eine große Rolle spielte. Nachrichtentheorien entstanden bzw. wurden erfolgreich nur wieder aufgegriffen im Zusammenhang mit Telegrafie und Fernsehen. In Abb. 12 sind die sich auf Hartley berufenden Arbeiten in die von ihnen beanspruchten Gültigkeitsfelder eingetragen.

ABBILDUNG 12: Die Folgearbeiten zu Hartley's Informationskonzept und ihre technischen Entstehungsbereiche



Erst nachdem die technische Entwicklung gewissermaßen eine Schleife durchlaufen hatte, konnte Hartley's Konzept wieder fruchtbar sein.

b) Aus der Abfolge unterschiedlicher Entwicklungsphasen dieser Techniken, von III über II zu I, ergab sich, daß die Wahrscheinlichkeit für die Bildung einer neuen allgemeinen Theorie in Telefonie und Funktechnik überhaupt gering war nach Beginn der dreißiger Jahre. Weder war eine abgeschlossene stabile empirische Basis dafür vorhanden, weil sich die dann die NT dominierenden Gebiete zu schnell veränderten noch konnte eine solche auf vorhandenen Ergebnissen basierende Theorie mit großem Interesse rechnen, da die drängenden Probleme vielfältiger spezieller Natur waren.

3. DIE THEORIE

3.1 H. NYQUIST: TELEGRAFENTHEORIE

In »Certain Factors Affecting Telegraph Speed« (1924) traf Harry Nyquist erstmals eine Unterscheidung zwischen Signal-, Buchstaben- und Nachrichtenübermittlungsgeschwindigkeit. Lediglich implizit jedoch formulierte er den Zusammenhang zwischen Signalgeschwindigkeit und Bandbreite.[425] Technisches Ziel Nyquists war dabei ein Effizienzvergleich verschiedener Telegrafier- und Codesysteme. Dieses Ziel existierte in der zweiten Arbeit (1928) nicht mehr, explizit schloß er die Zeichen- und Codeebene der Telegrafie von der Betrachtung aus.[426] Er konzentrierte sich vielmehr auf Zusammenhänge zwischen Zeit- und Frequenzdarstellung von Signalen, den technischen und methodischen Wandel in der Telegrafie reflektierend.

3.1.1 »CERTAIN FACTORS AFFECTING TELEGRAPH SPEED«; 1924

3.1.1.1 NACHRICHTENBEGRIFF

Zu Beginn dieser 1924 erschienenen Arbeit steckte Nyquist das technisch-praktische Problem ab, dessen Lösung die Arbeit anstrebte,

> »the problem of transmitting over a circuit the maximum amount of intelligence using a given frequency range without causing undue interference either in the circuit being considered or from that circuit to other cirucits.«

Davon ausgehend unterschied Nyquist zwei unterschiedliche Ebenen der Behandlung dieses Problems:

»Signalshaping« um die größtmögliche Signalgeschwindigkeit erzielen zu können und »choice of codes«, um die größtmögliche Nachrichtenmenge (»amount of intelligence«) übertragen zu können (1924:412).

Diese Unterscheidung wird im Verlauf der gesamten vorliegenden Untersuchung wieder in dieser oder jener Form auftauchen, insbesondere findet sie sich später bei Shannon in dem Unterschied zwischen »Source-« und »Channel coding«. In dieser Arbeit wird sie als der Unterschied zwischen »Nachrichten-« und »Signalebene« der Theorie bezeichnet.

Er benutzte in dieser Arbeit die Begriffe des Stromwertes (»current value«)[427] und des Telegrafierzeichens (»character«).[428]

Diese beiden Begriffe, die direkt offensichtlich Phänomene des Betriebes von Telegrafensystemen bezeichnen, waren in der einen oder anderen Form bereits lange üblich in der Telegrafie. Wichtiger waren die von Nyquist abgeleiteten und wohldefinierten abstrakteren Begriffe:

---

[425] Daher stellten die Rezensenten diesen Punkt auch an keiner Stelle als besondere Leistung heraus, wie K. Winnig (JBET; 1924:182) oder E. Mallet (Science Abstr., B2; 1924, 318:317)
[426] H. Nyquist, Memorandum, »Comments received from Bell Telephone Laboratories Engineers« (10.8.1927:5)
[427] in der klassischen Telegrafie meist verwendete Stromwertezahl: 2 (-,+ oder 0,+) oder 3 (-,+,0).
[428] Folge einer Zahl von Impulsen mit festgelegten Stromwerten.

»signal element« als Teil des Signals, der das kürzeste im Betrieb der Telegrafierstrecke auftauchende Zeitelement einnimmt, d. h. sowohl die Impulse als auch die Pausen zwischen ihnen sind Signalelemente. Die »line speed«, die er als

»number of signal elements per second divided by two« (:412)

definierte. Der Faktor 1/2 rührte gerade daher, daß Nyquist auch die Pausen als Signalelemente auffaßte, während die »line speed«, die er gelegentlich auch als »rate of sending of signal elements« (:415) bezeichnete, nur die Zahl der Stromimpulse selbst berücksichtigen sollte.

Als eine weitere Geschwindigkeit führte er schließlich die »speed of transmission of intelligence« ein, als die Anzahl der Charaktere, die in einer gegebenen Zeit übertragen werden konnten (ebd.).

Diese »Nachrichtenübertragungsgeschwindigkeit« war im Grunde natürlich nur eine *Zeichen*übertragungsgeschwindigkeit, da sie als Zahl der Zeichen (»characters«) pro Zeiteinheit definiert wurde. Am Ende seiner Betrachtungen wurde Nyquist dieses theoretisch nicht getroffenen Unterschiedes gewahr, als er die zuvor für die Nachrichtenübertragungsgeschwindigkeit entwickelte Beziehung auf konkrete Fälle anwendete.

Auf diese Beziehung führten ihn zunächst die folgenden Überlegungen (:420):

Ist m die Anzahl der verwendeten unterschiedlichen Stromwerte, die Anzahl der Signalelemente pro Charakter, so ist m^n die Anzahl der damit konstruierbaren unterschiedlichen Charaktere, wobei diese Zahl von m oder n in anderer Hinsicht unabhängig sein müsse und demzufolge gelte

$m^n = \text{const.}$

und

»This equation may also be written

$n \log m = \text{const.}$« (:420)

Das heißt, diese Beziehung, die bei Hartley später als Betrag der in einem der durch m und n bestimmten Charaktere enthaltenen *Information* interpretiert wurde, wurde von Nyquist hier lediglich formal abgeleitet, die Konstante nicht weiter gedeutet. Aus dieser Beziehung leitete er für die

»speed with which intelligence can be transmitted« (ebd.)

den Ausdruck

$W = K \log m$

ab.

Die Geschwindigkeit der Nachrichtenübermittlung W war damit dem Logarithmus der Zahl der verwendeten Stromwerte proportional. Die Proportionalitätskonstante K enthielt dabei die oben erwähnte – und nicht interpretierte Konstante »const.« sowie die als gegeben vorausgesetzte »line speed« s.

Bei der Diskussion der praktischen Fälle: 3 Stromwerte, 3 Signalelemente pro Charakter und 2 Stromwerte, 5 Signalelemente pro Charakter geriet Nyquist jedoch in eine Unstimmigkeit, die die folgenden Überlegungen hervorrief:

»lt is obvious that the speed with which characters can be transmitted is five third the speed in the latter case for a given line. In other words the ratio is 1,67:1 whereas the formula gives the

ratio 1,58:1[429]. lt should be noted, however, that the former code possesses only 27 characters whereas the latter possesses 32.

In other words one character of the latter code represents the transmission of more intelligence than one character of the former. Thus the figure 1,67 for the relative speeds of transmission of characters and the figures 1,58 for the relative speeds of transmission of intelligence are not incompatible.« (Hervorh.-Autor)

Hier wurde also bereits die Unterscheidung zwischen *Zeichen*- und *Nachricht*enübertragung deutlich getroffen.

Um nun die Formel auch für Charaktere unterschiedlicher Länge, sprich unterschiedlicher Häufigkeit der durch sie dargestellten Buchstaben und Zeichen, abzuleiten, ging er daran (:421), einen Code beispielhaft zu konstruieren und verfuhr nach der Regel, daß den häufigsten Zeichen die kürzesten Charaktere entsprechen müßten. Er benutzte an dieser Stelle eine für die Zwecke der militärischen Kryptografie geschaffene Tabelle der Häufigkeit der verschiedenen Buchstaben.[430]

Dies ist deshalb interessant, weil es deutlich macht, daß die Nachrichtentheorie Shannons später nicht etwa das Resultat der mehr oder weniger zufällig zustande gekommenen Synthese von Kryptografie und Nachrichtentechnik gewesen ist, sondern daß bereits sehr früh die Frage der Codewahl in der Telegrafie auf das im Bereich militärischer Kryptografie erarbeitete Diaterial als Ausgangsbasis führte.

Damit läßt sich zusammenfassend feststellen, daß Nyquist einige wichtige Gedanken hinsichtlich des Nachrichtenbegriffes in dieser Arbeit erstmals äußerte: er traf eine Unterscheidung zwischen *Signalelement, Charakter* und *Nachricht*, wobei ihm bereits bewußt war – zumindest intuitiv – daß die von einem Charakter übertragene Nachrichtenmenge (»amount of intelligence«) von der *Anzahl möglicher Charaktere* abhing. Einen Nachrichtenbegriff aber unabhängig von der Frage nach der Übertragungsgeschwindigkeit stellte Nyquist nicht auf. Interpretiert wurde dieser nur in der impliziten Form als ‚Nachrichtenübermittlungsgeschwindigkeit« und dargestellt als dem Logarithmus der Zahl der verwendeten Stromwerte proportional. In dieser Form war der Nachrichtenbegriff in seiner Anwendbarkeit auf ganz konkrete Fragen der Telegrafie beschränkt. In keiner seiner späteren Arbeiten ging Nyquist wieder auf diesen Begriff ein.[431]

3.1.1.2 STÖRUNGEN

Neben dem Problem der Abhängigkeit der Nachrichtenübermittlungsgeschwindigkeit von der Zahl der verwendeten Stromwerte bestimmten die Problem der Störungen und der Qualitätskriterien der Übertragung die Arbeit »Telegraph Speed«.

Für verschiedene Signalformen untersuchte Nyquist ihre Zeit- und Frequenzcharakteristik. Dabei war das *Zeitintegral* des Signals[432] für die Qualität des Empfangs entscheidend und der Anteil höherer Frequenzen im *Frequenzspektrum* des Signals (den er mit Hilfe des Fourierintegrals ermittelte) für die Interferenz des Signals in andere Übermittlungskreise, d. h. die Störung anderer Kreise ausschlaggebend. In diesem Zusammenhang schlug er dann eine Schaltung zur Anpassung von Signalen an den Übertragungskreis vor.

---

[429] Das Verhältnis der Charakterlängen zueinander, 5:3=1,67 aber log 3: log 2 = 1,58 das Verhältnis der Nachrichtenübertragungsgeschwindigkeiten.
[430] Parker Hitt (undat. vor 1924).
[431] Auf der Ebene interner Memoranda wurden jedoch hin und wieder Betrachtungen auf dieser Ebene angestellt: so z. B. Pierre Mertz, »Communication Circuits – Methods of Increasing Flexibility, Respecting possible Signal Speed and Number of Discrete Current Values«; 6.9.1927 – BAA, 6.021 – »Telegraph Transmission Theory«.
[432] Die von dem Signal als Zeitfunktion eingeschlossene Fläche

Interessant ist hier eine andere Erwähnung des Problems der Störungen aus externen Quellen auf das betrachtete Signal im Zusammenhang mit der möglichen Anzahl verschiedener Stromwerte.

Nachdem Nyquist in der Vorbemerkung zu »Telegraph Speed« angegeben hatte:

> »There is, of course, no theoretical limit to the number of current values which may be ... employed.« (1924:412)

diskutierte er später doch den wohl als ›lediglich praktisch‹ angesehenen Gedanken, daß die möglichen Stromwerte sich um mehr voneinander unterscheiden müßten, als die Störungen ausmachten:

> »The spacing between the current values being determined by the interference and fluctuations in transmission efficiency, it will be seen that the *maximum number of current values* which can be employed is *determined by the maximum power* which is permissible to use.« (1924:417)

Es ist wichtig, auf die Behandlung des Störproblems so ausführlich einzugehen, um deutlich zu machen, daß dessen Einfluß auf die Zahl möglicher Stromwerte bei der Telegrafie als »praktisches« Problem bereits sehr früh erkannt worden war. In ähnlicher Weise findet sich dieser Gedanke bei Hartley (1928) und Nyquist (1928) wieder. Auch die Arbeiten von Hartley (1946), Tuller (1948), Clavier (1948) und Küpfmüller (1949) knüpfen an diese Überlegungen an und drücken den hier bereits verbal geäußerten Zusammenhang lediglich formal aus.[433] Erst Shannon jedoch brachte deutlich den Aspekt des Verhältnisses von *Rauschleistung* und Signalleistung als einem für die Eigenschaften eines Übertragungssystems insgesamt entscheidenden Quotienten zum Ausdruck.

Alle anderen Arbeiten aber, die sich später vor allem mit der Signalebene der Übertragung befaßten, wie die später diskutierten Arbeiten von Strecker (1935; 1939), Küpfmüller (1931; 1939) oder Gabor (1946) gehen auf den Einfluß von Störungen nicht mehr ein.

Auch bei Nyquist, darauf sollte noch einmal hingewiesen sein, galten die mit den Störungen verbundenen Begrenzungen der Stromstufenzahl (und damit der übertragbaren Nachrichtenmenge – worauf aber Nyquist nicht hinwies) nicht als »theoretische«, d. h. prinzipielle Grenzen. Dies wird besonders deutlich in einer internen Debatte über Nyquists Arbeit »Telegraph Theory« zwischen L.A. MacColl (»Mathematical Research« – BTL) und Nyquist.[434]

Dabei sei an den technischen Hintergrund erinnert; in den Leitungsübertragungstechniken der Zeit waren die Störungen noch derart, daß ihre *Ursachen* angebbar und behebbar waren. Erst mit dem Übergang zu immer höheren Frequenzen und höheren Verstärkungsfaktoren in der Funktechnik trat das thermische Rauschen der Elektronenbewegung in Widerständen stärker in den Vordergrund. Dann erst wurde der prinzipielle Charakter der Störungen in der Übertragung in der Übertragungstheorie berücksichtigt.

3.1.1.3 SIGNALELEMENT

Dieses Konzept verdient hier Aufmerksamkeit im Zusammenhang mit seiner Erweiterung in späteren Arbeiten von Nyquist und anderen Autoren. Der Begriff des Signalelementes stammt dabei nicht unbedingt von Nyquist, sondern ist um einiges älter. So spricht beispielsweise Hartley bereits 1921 in einer Notebook-Eintragung

---

[433] vergl . III.3.2
[434] vergl. II.3.1.3

von der »elementary unit of a signal« als der grundlegenden Einheit der Telegrafenübertragung (1921 (N): 48).[435] Bei Nyquist wurde aus dem Begriff des Signalelementes der der »line speed« abgeleitet[436] – die man in Deutschland als »Telegraphierfrequenz« bezeichnete[437] – und zwar mit

$$s = \frac{N}{2}$$

wenn N die Zahl der Signalelemente in einer Zeiteinheit und s die »line speed« war. Dies war neben der weiter unten erwähnten Formulierung durch Küpfmüller (1924) die erste, wenn auch noch sehr implizite Erwähnung des formalen Zusammenhanges zwischen Frequenzbandbreite und Übermittlungszeit, der später in anderer Interpretation als »Abtasttheorem« (Shannon; 1948) bekannt wurde.[438]

War das »Signalelement« bei Nyquist (1924) der kürzeste zeitliche Impuls, aus dem sich alle Signalformen der Telegrafie zusammengesetzt denken ließen, so war es bei Nyquist (1928) auch durch sein Pendant, die »reine Sinuskomponente« darstellbar, aus der sich alle Frequenzanteile von Signalen – mit Hilfe der Fourieranalyse – zusammengesetzt denken ließen. Bei Gabor (1946) schließlich war das Signalelement eine Fläche im zweidimensionalen Zeit-Frequenzdiagramm und repräsentierte die elementare Einheit für die Darstellung eines »Datums« in elektrischen Übertragungssystemen : 1 »Logon«.

Die oben angedeutete Erweiterung des Begriffs des Signalelementes auf dessen Darstellung im Frequenzbereich und der Zusammenhang zwischen »reinen Sinuskomponenten« und Signalelementen war der Hauptgegenstand in Nyquists »Telegraph Theory« von 1928. Zuvor jedoch noch einige Bemerkungen zur weiteren Wirksamkeit dieser Nyquistschen Arbeit.

3.1.1.4 WIRKUNG

Da Nyquist die Diskussion der günstigsten Codeformen und deren Einfluß auf die Menge der übertragbaren Nachrichten in der Zeiteinheit in späteren Arbeiten nicht wieder aufnahm, seien hier die Resultate erwähnt, zu denen er nach den genannten Überlegungen gelangte. Nach dem Vergleich einiger gängiger Telegrafiersysteme der Zeit mit 2 und 3 Stromwerten, sowie der Betrachtung eines von ihm konstruierten 3-wertigen Codes, kam er zu dem Resultat, den »Continental Morse Code«, mit 3 Werten als optimal zu empfehlen. Mehr als dreiwertige Codes schloß er dabei aus, zum einen wegen des oben zitierten Effekts der Störungen, zum anderen, weil (:415):

> »whenever more than two current values are employed it is necessary to make the sending and receiving means more complicated and expensive. There may be nothing to gain, therefore, in using codes, other than those made up of two current values where the telegraph circuits are cheap.« (1924:415)

Genau dies war aber der Fall: die Übertragungskanäle wurden billig. Wie bereits an anderer Stelle hervorgehoben worden ist, brachte diese Verbilligung der Kanäle die Forderung zum Verschwinden, möglichst große Nachrichtenmengen in der Zeiteinheit zu übertragen. Die Frage nach den effizientesten Codes wurde damit uninteressant.

Eben daher wurden Probleme der *Nachrichtenebene* weder später von Nyquist noch von anderen Autoren (bis auf Hartley; 1928) genauer behandelt. Mit anderen Worten, unter den damaligen Bedingungen in der Telegrafie existierten solche Probleme gar nicht mehr.

---

[435] Hartley-Notebook, BAA
[436] auch p 419, als »speed of signaling« bezeichnet.
[437] vergl. II.2.3.3
[438] Zur Bedeutung dieses formalen Zusammenhanges vgl. II.3.3

Für die weiteren Probleme der Telegrafie waren eher die Aussagen Nyquists über die optimale Anpassung der Signale an die Bedingungen spezieller Übertragungsstrecken von Bedeutung – entfernten sich jedoch nicht allzusehr von dem was auch an anderer Stelle in dieser Hinsicht geleistet worden war. Von größerer Wirkung war die im folgenden diskutierte Arbeit »Telegraph Theory«.

3.1.2 »CERTAIN TOPICS IN TELEGRAPH TRANSMISSION THEORY«: 1928

Diese Arbeit Nyquists stellte in der Wirkung auf Zeitgenossen[439] und nach Nyquists eigenem späteren Urteil eine verhältnismäßig vollständige und geschlossene Theorie der Telegrafie dar:

> »it's a sort of a complete paper. The other one (1924) – I can't say that understood the problem except in a partial sort of a way. In the second one (1928) I think the whole problem was presented in a sort of a final form and it sort of drove a peg on the business of telegraph transmission« (Nyquist; 23.10.1962:15).«

3.1.2.1 FREQUENZDARSTELLUNG

Entscheidend bestimmt wird die Arbeit in ihren Leistungen und der Betrachtungsweise der Phänomene der Telegrafie von der Methode der Zerlegung der Signale in Summen von Sinus- und Kosinusfunktionen, d. h. in Fourierreihen. Bei dieser Methode der Signalbeschreibung wird die Frequenz der entscheidende Parameter, statt der Zeit. Die Technik, der der Hauptteil der Arbeit gilt, ist wieder (wie in (1924)) die *Gleichstromtelegrafie.* Eine Reihe wichtiger Ergebnisse wird allerdings mit dieser Methode auch für die Wechselstromtelegrafie abgeleitet. Eine der am ausführlichsten behandelten Fragen in dieser Arbeit ist die nach dem Zusammenhang zwischen Übertragungsbandbreite und Signalgeschwindigkeit bzw. der Erkennbarkeit des empfangenden Signals. Theoretisches Grundkonzept ist das des Signalelementes.

Eine »telegraph wave« wird als hinsichtlich zweier unterschiedlicher Aspekte beschreibbar aufgefaßt (:617):

- als Zeitfunktion f (t), was eine Methode vom Standpunkt der Einschwingvorgänge (»transient viewpoint«) verlange, oder

- als Funktion der Frequenz (F (Omega)), was die »steady state« Methode verlange, d. h. die Beschreibung mit Hilfe der Fourieranalyse.

In der Arbeit wird nun diese letztere Methode auf die Probleme der Telegrafie, wie *Störungen, Signalform, Signalgeschwindigkeit, Bandbreite* angewendet (:627).

»Telegraph Theory« stellt zwar keineswegs die erste Anwendung dieser Methode in der NT dar, aber den *ersten Versuch, auf dieser Basis die zusammenhängende Theorie einer Nachrichtentechnik* aufzustellen,[440] die sich in ihrer technischen Entwicklung einem Abschluß genähert hatte.

---

[439] z. B. der deutsche Rezensent in ETZ 50; 1929, 4:131 f. nennt sie eine »zusammenhängende, sehr ausführliche Arbeit« und »rein theoretische« Arbeit.

[440] Daß die einheitliche Anwendung dieser Methode zu jener Zeit alles andere als üblich war, geht u.a. aus der Äußerung des deutschen Berichters (ETZ 50; 1929, 4:131 f.) hervor, der die Zeitdarstellung (»Wanderwellenmethode«) als die »meist übliche« bezeichnete. Ebenso bekundete der Chefingenieur der französischen Post- und Telegrafenverwaltung, J.B. Pomery, in einem Brief an Nyquist (23.2.1928, engl. Übersetzung, BAA 6.022, »Telegraph Transmission Theory«):
»I have had enormous difficulty in understanding your first four pages. The considerations on page 3 (Zusammenhang zwischen Bandbreite und Signalgeschwindigkeit – FH.) are so general that I have not been able to fix my ideas. I have need to reflect on it

Der Begriff des »Signalelementes« erfuhr in dieser Arbeit gegenüber seiner Definition in »Telegraph Speed« eine Präzisierung (:619) und Verallgemeinerung (:626):

Nyquist stellte hierin das Signalelement durch ein Produkt aus einer die Wellenform (»wave shape«) bestimmenden Zeitfunktion f(t) und eines die Größe (»magnitude«) bestimmenden reellen Faktors a_h dar:[441]

a_h f(t).

Die Größe a_h repräsentiert dabei die aktuell übertragene Nachricht, während die Form des Signals für alle Signalelemente identisch sein soll.

Diesen Ansatz verallgemeinerte er dann auf die Darstellung als Funktion der Frequenz, wobei er als Äquivalent zum Signalelement als elementarer Einheit (»elementary unit«) die reine Sinuskomponente (»sinusoidal component«)

$(A_n - i\,B_n)$

erhielt.

Diese ließ sich nun wieder als Produkt aus einer die Signalform repräsentierenden Frequenzfunktion (»shape factor« – :620) F(Omega)[442] und dem Fourierkoeffizienten $(C_n - iS_n)$ darstellen:

$(A_n - iB_n) = (C_n - iS_n)$ F(Omega).

Wieder wurde dabei die übertragene Nachricht von dem ersten Faktor, dem Fourierkoeffizienten $(C_n - iS_n)$ repräsentiert.[443]

Während die Trennung von Signal(form) und Nachrichten(repräsentation) unter dem *Zeitaspekt* mit der Vorstellung der einander zeitlich folgenden verschiedenen Amplitudenstufen, d. h. der diskreten Stromwerte verbunden war -und damit Überlegungen auf der *Nachrichtenebene* zum Einfluß der Zahl unterschiedlicher Stromwerte auf die Übertragungsgeschwindigkeit ermöglichte, brachte die Trennung in *Spektraldichte und Fourierspektrum* unter dem *Frequenzaspekt* die Frage nach dem Einfluß der Zahl unterschiedlicher Sinus- oder Kosinuskomponenten, d. h. der Frequenzbandbreite auf die Übermittlungsgeschwindigkeit und Erkennbarkeit von *Signalen* mit sich bzw. ermöglichte die exakte Behandlung dieser Frage (:620 f.).

Dabei ergab sich die bereits früher von Nyquist und anderen weniger klar erkannte Bedeutung der Frequenzbandbreite (im Zusammenhang mit der Gleichstromtelegrafie):

als die für die Bestimmung des gesamten Nachrichteninhaltes eines Signals beliebig großer Bandbreite mindestens notwendige und auch hinreichende Bandbreite.[444] N ist dabei die Zahl der Signalelemente in dem Zeitintervall T und der obige Ausdruck bezeichnet gleichzeitig die »line speed« in Nyquistischer Terminologie :

---

much further before agreeing to it completely«, und, »I have not yet well understood what you call a signal element at the receiving apparatus.«

[441] Eine Darstellung, die z. B. 1949 von Weston wieder verwendet, aber offenbar als neu angesehen wurde. Vgl. III.3.2

[442] In heutiger Terminologie als »Spektraldichte« oder »Frequenzspektrum« bezeichnet.

[443] Zum theoretischen Hintergrund siehe z. B. Philippow (1967, 3:96)

[444] Bei der ersten Diskussion seines Papiers mit den Nachrichtentechnikern des BTL war diese Beziehung in ihrer Gültigkeit keineswegs unumstritten. Vgl. dazu Abschnitt II.3.1.3.

Mit anderen Worten, der obige Ausdruck gibt die Zahl der »reinen Sinuskomponenten« – dem Frequenz-Äquivalent der Signalelemente -, die notwendiger- und hinreichenderweise Übertragen werden müssen (»Bandbreite«), um N in der Zeit T übermittelte Signalelemente wiedererkennen zu können. Er gibt mithin den *Zusammenhang zwischen Mengen von »Zeit-« und »Frequenz-«Elementareinheiten eines Signals.*

Diese aus der Verwendung der Methode der Fourieranalyse abgeleitete Beziehung stellt den formalen Kern des späteren Abtasttheorems dar, wie auch des Hartleyschen Zeitgesetzes oder der Definition der Gaborschen Informationseinheit »Logon«, wie sie auch' andererseits bereits eine Rolle in der Interpolationstheorie gespielt hatte und in der Meßtechnik spielen sollte.[445]

Gegenüber den Interpretationen dieses formalen Zusammenhanges von Hartley und Gabor betonte Nyquist jedoch noch die Alternativität von Zeit- und Frequenzdarstellung.

> »In the cyclical aspect.. it ... does not matter in specifying the signal what time it took to transmit the signal .. . Analogously, with the progressive aspect of the wave the frequency is very much in the background.« (1928:626)

Bereits Strecker (1935) und Gabor (1946) betrachteten die Signale nicht mehr alternativ eindimensional in Zeit- oder Frequenz darstellbar, sondern als Flächen in einer Zeit-Frequenz-Ebene. Gabors Informationselement »Logon« stellt eine Erweiterung des Nyquistschen Signalelementes auf diese Zweidimensionalität dar.

3.1.2.2 STÖRUNGEN

Das Problem der Störungen wurde von Nyquist nach einer Diskussion mit R.V.L. Hartley und L.A. MacColl in der Arbeit angesprochen – allerdings am Rande[446]. Für den Großteil der Überlegungen war externe Störfreiheit vorausgesetzt worden. Um Störungen diskutieren zu können, mußte er innerhalb der Zeitdarstellungsweise argumentieren:

> »the number of distinct magnitude factors, hence the amount of intelligence that can be transmitted over a circuit are definitely limited by the interference. lt is therefore important to consider the nature of the interference and to determine to what extent, if at all, it may be overcome.« (1928:627)

Weiter als in dieser Bemerkung wurde der Gedanke, daß die übertragbare Nachrichtenmenge durch die Störungen begrenzt ist in der hier interessierenden Richtung nicht entwickelt. Die Störungen spielten allerdings eine weit größere Rolle in der internen Diskussion, die Nyquist mit MacColl über seine Arbeit führte. Auf diese wird im Anschluß eingegangen. Zuvor soll jedoch noch kurz auf die weitere Wirksamkeit dieser Nyquistschen Arbeit eingegangen werden.

3.1.2.3 WIRKUNG

Die direkten Leistungen der »Telegraph Theory« waren die Angabe von Kriterien für die verzerrungsfreie Übertragung von Signalen, und zwar in dreierlei verschiedenen Messungen der empfangenen Signale (:621, 633): als *Amplitudenmessung*, als *zeitlicher Abstand* der empfangenen Signalmaxima

---

[445] In der Mathematik war diese Beziehung schon seit 1915 (Whittacker; 1915) bekannt.
In der Meßtechnik tauchte sie z. B. in F. Zernike's Arbeit »Die Brownsche Grenze für Beobachtungsreihen« (1932) in der Form s = Pi/Omega als optimaler zeitlicher Abstand zwischen Meßwerten in einer Beobachtungsreihe auf.

[446] Auf Anregung von Hartley, Mathes, Hogg und MacColl (BTL-«Transmission Research«) wurde der Absatz über die Störungen in das Papier aufgenommen.
Nyquist Memorandum (10.8.1927:3)

und als *Zeitintegral* der empfangenen Signale, die der jeweiligen Größen der gesendeten Signale zu entsprechen hätten.

Für jedes dieser Kriterien gab Nyquist die für die Übertragung optimalen Signalformen f(t) und Frequenzspektren F(Omega) an. Auf der Signalebene wurde ebenfalls die Möglichkeit der Überwindung von Störungen durch geeignete spektrale Energieverteilung im Signal diskutiert.

Die Begriffe und Leistungen der Telegrafentheorie waren von unmittelbarer Wirksamkeit, sie spielten eine Rolle für weitere Arbeiten in der Telegrafie, der Bildtelegrafie und dem Fernsehen, vor allem aber auch im internen Bereich der AT&T in Fachdiskussion und Ausbildung.[447]

In einer Reihe von Memoranda wurden Nyquistsche Fragestellungen (wie die günstigste Signalform bei bestimmten Verzerrungseigenschaften und Empfangstechniken der Systeme) und Begriffsbildungen (wie die des Signalelementes, der Verzerrung, der Signalgeschwindigkeit) übernommen.[448]

Besonders aber zeigte sich der Wert dieser vollständigen Theorie der Telegrafie in der Ausbildung und Unterrichtung von Technikern und Ingenieuren. In einem Bericht über die Resultate der ersten internen Ausbildungskurse in der AT&T für die Ingenieure des Long Lines Department stellte A.B. Clark Leiter der Unterabteilung »Toll Transmission« (Fernverkehr) im AT&T D&R Department 1928 fest:[449]

> »In giving the lectures on telegraph transmission theory, the matter given in Mr. Nyquists recent institute paper was covered in a general way with a minimum of mathematics. lt is thought that these discussions, together with explanations of specific transmission matters in connection with the different telegraph systems, will serve a very useful purpose in eradicating misconceptions and directing the thoughts of the field people along channels having a good fundamental basis.
>
> A number of the men expressed themselves as being much gratified at having been able to obtain a better background along these lines, so that they could clarify their own conceptions and be able to absorb and apply new information to better advantage.« (Clark; 1928:2)

Ein Textbuch für diesen internen Gebrauch war in Vorbereitung. Danach kann man mit einigem Recht sagen, daß diese Arbeit Nyquists, zumindest in den USA,[450] so etwas wie die anerkannte Theorie der Telegrafie geworden war, auf der einheitlichen Basis der Methode der Fouriereihenzerlegung und Frequenzdarstellung der Signale. Schlüsselbegriff war dabei der des Signalelementes in seiner präzisen Formulierung und verallgemeinerten Bedeutung. Er ermöglichte die einheitliche Behandlung der Probleme der Signalgeschwindigkeit, Übertragungsbandbreite, der Wiedererkennung und Verzerrung und der Störüberwindung. Die theoretische Grundlage dieser Telegrafentheorie deckte sich mit dem, was in Deutschland unter »Schwingungsforschung« betrieben wurde.

---

[447] Dies ist vor allem im Vergleich zu der weiter unten zitierten Theorie Hartleys gemeint. So z. B. auch Pierce (1973:3) »lt is Shannons feeling and mine, that Nyquists work was more fruitful.« In dem zusammenfassenden Bericht »Telegraphy in the Bell System« (Duncan, Parker, Pierce; 1944:1032) werden unter »Transmission Principles« nur Nyquists beide Arbeiten als theoretische Beiträge erwähnt. Ebenso in Arbeiten für Telephotographie (Reynolds; 1936:557), Fernschreibübertragung (Pierce, Bemis; 1936:532) und Multiplex-Telefonie (Bennet; 1941: 200) beziehen sich die (Bell-)Autoren auf Nyquists Telegrafentheorie als eine wichtige theoretische Basis. Auch für Nyquists Arbeiten nach 1942 selbst in der Kryptografie (Riordan; 1977:1/740) dürfte die Telegrafentheorie wieder eine Rolle gespielt haben, da er die Beschäftigunq mit ihr zu der Zeit wieder aufnahm (Case'35835, BAA, Case Survey Report, 1942).

[448] So z.B. in: K.W. Pfleger, »Definition of Relay Distortion«; 4.3.1935
Ders.: »Distortion Correction by Signal Shaping«; 9.5.1927
Ders.: »Distortion Correction«; 7.6.1933 BAA 6.021(1935) und BAA6,022(1927 u.1933)

[449] »Telegraph Transmission School Conducted by LL Department«. Memorandum an 0.B. Blackwell (Leiter »Transmission Development« im D&R Department); 18.5.1928 BAA 6.021

[450] In Deutschland war H. Salinger der Experte für Fragen der Telegrafiergeschwindigkeit, z. B. Salinger (1927) oder Salinger, Stahl, »Über die Berechnung der Telegraphiergeschwindigkeit« (1933). Er bezog sich darin auf eine Vielzahl von Arbeiten, darunter auch die Nyquists.

Fourieranalyse und Frequenzdarstellung waren die theoretischen Konzepte in der NT der 30'er Jahre, auch der Telegrafie.

Theoretisch wesentlich weiterentwickelt wurde die Telegrafentheorie dann jedoch nicht. Obwohl er interessante theoretische Probleme noch sah,[451] waren Probleme anderer Bereiche drängender. Nur noch am Rande widmete sich Nyquist der Telegrafentheorie bis 1936.[452] Erst 1941 tauchte unter den Dutzenden von Themen, an denen er arbeitete, die Telegrafentheorie wieder auf[453] - zu dieser Zeit bestanden enge Arbeitsbeziehungen zu Shannon, der an den Problemen der Kryptografie arbeitete.[454]

3.1.3 IDEALE VERSUS REALE TELEGRAFENSYSTEME

W.G. Tuller leitete seinen Versuch einer Präzisierung des »Hartley-Law« (1948) über die Abhängigkeit der übertragenen Informationsmenge pro Zeiteinheit von der Bandbreite der Übertragung mit der Diskussion einer technischen Methode ein, die diesem Gesetz zuwider (für ungestörte Systeme) die Übertragung *beliebiger* Informationsmengen über beliebig geringe Bandbreiten ermöglichte.

Aus diesem Widerspruch wurde die Notwendigkeit einer Präzisierung des »Hartley Law« für reale, gestörte Systeme abgeleitet.

Auch Roddam (1949) sprach die Existenz eines solchen Systems an, mit dessen Hilfe die einzige Art von Störungen der Übertragung, die Hartley und Nyquist betrachtet hatten, nämlich das Verschwimmen von einander zu schnell folgenden Telegrafieimpulsen ineinander (»Intersymbolinterferenz«) beseitigt werden konnte:

> »if the equipment is refined enough, dots can follow at any speed we like, we can send our message faster than Hartley's Law permits. lt is surprising that this common sense technique was not evolved sooner.« (Roddam; 1949:114)

Diese »common sense technique« war allerdings bereits lange vorher diskutiert worden – und zwar aus Anlaß der ersten Theorie, die einen festen Zusammenhang zwischen der möglichen Signalgeschwindigkeit und der dazu notwendigen Bandbreite formulierte, der Nyquistschen Telegrafentheorie (1928) – von L.A. MacColl (BTL-Transmission Research und ab 1928 in der Gruppe für »Mathematical Research«). Auf diese Diskussion zwischen Nyquist und MacColl sei im folgenden eingegangen.

Am 10. August 1927 berichtete Nyquist über die Ergebnisse einer Diskussion eines ersten Entwurfes seiner »Telegraph Theory« mit einer Gruppe von Experten der Abteilung »Transmission Research« der BTL (Hartley, Mathes, MacColl, Hogg).

Dabei kritisierte MacColl, daß nicht deutlich werde, daß darin »ideal telegraph systems of a very novel sort« (Maccoll; 25.7.1927:1 f.)[455] , jedoch nicht »actual telegraph systems« (ebd.) diskutiert wurden, was dazu provoziere, »illogical comparisons« zwischen den theoretischen Eigenschaften jener und den praktischen Eigenschaften dieser anzustellen.

Mit den idealen Systemen sprach MacColl die von Nyquist unterschiedenen und eingehend diskutierten prinzipiellen Methoden der Signalerkennung an – nach Zeitintegral, Abstand oder Amplitude der empfangenen Signalelemente, und zwar auf dem Hintergrund der allgemein von ihm abgeleiteten Prinzipien der Übertragung in der »steady-state« Darstellung, bei denen Voraussetzungen wie »ideale

---

[451] vergl. Anhang II.
[452] »Transmission Theory – Development and Consultation« BAA, Case Book 1778, from 23151-54 to 39061 Case 35835, Case Survey Report 10.12.1936, »Authorization for work«
[453] wie oben, »Authorization for work«; 2.1.1941
[454] Riordan (1977:1/740)
[455] »Comments on Mr. Nyquists Paper: ‚Telegraph Transmission Theory«, L.A. MacColl; 25. 7.1927

Filter« gemacht wurden.[456] Als die wichtigsten besonderen Eigenschaften praktischer Systeme nannte MacColl deren ungenaues Funktionieren und deren Beeinflussung durch externe Störungen.[457]

> »As a consequence of these defects the permissible number of current values would be finite instead of infinite and so the *message-carrying capacity* of the system would be diminished.« (ebd. :2 f.)

Der hier zuletzt geäußerte Gedanke der Begrenzung der übertragbaren Nachrichtenmengen durch die Zahl der möglichen Stromwerte, d. h. der Störungen, fand sich noch unklar in Nyquists Arbeit »Telegraph Speed« (1924) und aufgrund der Intervention MacColls etwas klarer in »Telegraph Theory« (1928) am Rande erwähnt.[458] In der Formulierung seines »Hartley Law« hatte auch Hartley diesen Gedanken, einer durch die Störungen begrenzten »message-carrying capacity« explizit nicht ausgedrückt.

Anschließend entwickelte MacColl seine Forderung nach dem theoretischen Vergleich verschiedener »message-carrying capacities« und ihrer Bedingungen noch weiter:

> »lt would be well if Mr. Nyquist would give some estimate of what message-carrying capacities might be expected under various conditions. Of course, anything more than a rough estimate is impossible here, but even that would be valuable.
>
> lt seems the more advisable to look into this matter because some calculations by J.L. Hogg indicate that even if we make an estimate of the departures of the actual systems from the ideal systems which is very favorable to Mr. Nyquists systems the message-carrying capacities of the ideal systems would not be overwhelmingly superior to those of the best present systems.« (a.a.O. :3)

Diese Bemerkung ist in verschiedener Hinsicht interessant. Einmal geht aus ihr hervor, daß man bereits zu dieser Zeit eine ziemlich genaue Vorstellung von dem hatte, was theoretisch als nächstes auf dem Programm einer Telegrafentheorie stehen müßte, nämlich einen Ausdruck für die Abhängigkeit der »message-carrying capacity« vom Ausmaß der Störungen des Systems zu entwickeln.

Theoretisch – dies macht diese Diskussion deutlich –, waren die Ansätze zur Präzisierung des »Hartley-Law«, die von den Nachrichtentechnikern nach dem Zweiten Weltkrieg unternommen wurden (Hartley; 1946, Tuller; 1948, Clavier; 1948, Meinesz; 1949) von dem was Ende der 20’er Jahre (noch vor der ersten Publikation des »Hartley Law«!) innerhalb der Telegrafie zur Debatte stand nicht sonderlich weit entfernt. Anders ausgedrückt, *der Abstand von zwanzig Jahren war (was diese Arbeiten angeht!) keiner, in dem die Theorie sich erst noch weiterzuentwickeln hatte, sondern die entscheidende Dimension war vielmehr allein die technische Entwicklung in dieser Zeit.*

Aus dem zweiten Teil der MacColl´schen Bemerkung geht hervor, daß einige provisorische Kalkulationen in dieser Richtung bereits angedeutet hatten, daß nur ein sehr geringer Effizienzunterschied zwischen idealen und realen Systemen der Zeit zu erwarten gewesen war. D. h. mit anderen Worten, man hatte den Eindruck, daß ideale und reale Systeme im Effizienzbereich kommerzieller Telegrafie sehr dicht beieinander lägen, eine Erwartung, die unter den Bedingungen industrieller Forschung die weitere theoretische Durchdringung hinreichend uninteressant erscheinen lassen mußte, im Vergleich zur Vielzahl der ansonsten zur Bearbeitung anstehenden theoretischen Probleme.

War er bereits in diesem Teil der Diskussion gewissermaßen der Advokat der realen Systeme gewesen, argumentierte MacColl an anderer Stelle innerhalb der Nyquist’schen Theorie, indem er aus ihr

---

[456] Filter, deren Durchlaßbereich ideal scharf begrenzt ist.
[457] Hervorhebung - F.H.
[458] Vergl. Abschnitt II.3.1.2.2

(unter Voraussetzung realer statt idealer Filter) die Behauptung ableitete, daß eine beliebig geringe Bandbreite bereits beliebig hohe Signalgeschwindigkeit erlaube.

Nach einigen Diskussionen zwischen Nyquist und MacColl hatten diese den Eindruck, hier auf ein mathematisches »paradox« (Nyquist; 10.8.1927:2)[459] gestoßen zu sein – zwischen der Anwendung der Methode der Fourierreihe (Nyquist) und des Fourierintegral (MacColl), von dem jedoch allein dessen technische Implikationen interessierten:[460]

> »Mr. Nyquist contends, ... , that such a definite minimum bandwidth exists and that it is numerically equal to the speed of signaling. On the contrary, I assert that no such minimum bandwidth exists, that the signal is completely determined by the values of its spectrum throughout any finite range of frequencies however narrow, but not actually zero« (Maccoll; 18.8.1927:2)

Daher entwickelte MacColl schließlich die Gedankenkonstruktion eines technischen Korrekturverfahrens, das er im November 1927 in einem Memorandum, »A Method for Transmitting Signals through Any System at Any Speed« erläuterte[461]. Dessen Resultat war es, daß

> »it is possible using only apparatus which is in principle easily constructed, to signal through any transmission system at any speed and in such a manner that the time required to receive and interpret the message is equal to the time required to put the message on the line.« (Maccoll; 2.11.1927:6)

Die Unterschiede in der Bewertung dieser These über die Leistung physikalischer Systeme ließen sich nicht mehr durch die mathematischen Ausgangspunkte der Diskussion benennen. Mit anderen Worten, in der Nyquistschen Telegrafentheorie hätte sich nichts gefunden, was gegen ein solches System gesprochen hätte.[462]

Erst 4 Monate später (12.3.1928) antwortete Nyquist auf dieses Memorandum. Er tat dies nicht mehr auf dem Hintergrund der Telegrafentheorie, sondern von Problemen, die ihn zu der Zeit gerade beschäftigten, nämlich die des Wärmerauschens in Leitern und Widerständen (Nyquist; 1928 (a)).

Zu der oben zitierten MacCollschen These bemerkte Nyquist:[463]

> »lt is concluded, that while that statement is true mathematically, it is not generally true in a physical sense.« (Nyquist; 12.3.1928:1)

Mit anderen Worten, jetzt, vor dem Hintergrund der Nyquist'schen Arbeiten zum thermischen Rauschen in elektrischen Systemen hatten sich die Positionen vertauscht und – anhand eines Beispiels (des Unterseekabels San Francisco – Honolulu) – machte Nyquist die Unmöglichkeit des theoretisch abgeleiteten Korrektur- und Telegrafierverfahrens im praktischen Betrieb deutlich.

Das MacColl'sche Korrektursystem hätte bereits bei Strömen in der Größenordnung von »one electron per century« (Nyquist; 12.3.1928:1 f.) anfangen müssen, diese zu registrieren und zu korrigieren. Dagegen seien bereits die – prinzipiell unvermeidlichen – Ströme »due to thermal agitation« in den elektrischen Leitern mehrhundertmillionenfach so groß.

---

[459] »A Paradox Relating to the Minimum Required Bandwidth «, H. Nyquist; 10.8. 1927; BAA, Telegraph Transmission Theory, 6.022

[460] »On the Question of the Minimum Frequency Band necessary for the Determination of a Telegraph Signal «, L.A. MacColl; 18.8.1927, BAA, Telegraph Transmission Theory, 6.022

[461] »Comments on Memorandum by Mr. MacColl of November 2., 1927 «; 12.3.1928 H. Nyguist, BAA, Telegraph Transmission Theory, 6.022

[462] Die von MacColl kritisierte Voraussetzung war die der exakten Unterdrückung bestimmter Frequenzen jenseits eines vorgegebenen Bereiches. Nach seiner These wurden – wenn auch eben in geringem Maße – alle Frequenzen stets übertragen.

[463] »Comments on Memorandum by Mr. MacColl of November 2., 1927«; 12.3.1928 H. Nyguist, BAA, Telegraph Transmission Theory, 6.022

Damit war die praktische Unmöglichkeit eines derartigen Systems aufgrund der prinzipiell unvermeidbaren Störströme bereits in 1928 gezeigt, *zu dieser Zeit noch einen Gegensatz zwischen »realen« und »idealen« Systemen markierend.* Allerdings war thermisches Rauschen für die Telegrafie der damaligen Zeit ein zu fern liegendes Problem, um weitere theoretische Aufmerksamkeit beanspruchen zu können. Die Integration dieses Problems in die Shannon'sche Theorie beseitigte in dieser Hinsicht den Unterschied zwischen idealen und realen Systemen. Das Vorhandensein von Störungen (bestimmter Struktur) war gerade die Basis für die wichtigsten Aussagen der Theorie.

3.2 R. V. HARTLEY: INFORMATIONSKONZEPT

In der gesamten nachrichtentechnischen Fachdiskussion zwischen den Weltkriegen gab es keine Arbeit von so allgemeinem, fast philosophischen Anspruch wie die R.V.L. Rartleys, »Transmission of Information« aus dem Jahr 1928.

Nicht Wiener oder Shannon führten den Begriff der »Theory of Information« in die Nachrichtentechnik ein, wie dies i.a. vermutet wird,[464] sondern Hartley war der erste, der diesen Terminus verwendete, und zwar bereits 1939 im Kontext eines seiner Versuche einer Revision der neuen Physik und Fortführung seines Konzeptes von 1928!

Diese Arbeit (1928) stellte den ersten und bis zu den Arbeiten Gabors und Shannons einzigen Versuch in der Nachrichtentechnik dar, ein einigermaßen geschlossenes Konzept für den Leistungsvergleich verschiedener Übertragungstechniken zu entwickeln, das auf einem quantitativen Maß der Nachrichtenmenge basierte. Die meisten Autoren, die später den Versuch unternahmen, ein solches Konzept zu entwickeln, beriefen sich dabei auf Hartley (Clavier, Tuller, Shannon, Gabor, Okada (bereits 1940)). Vor allem auf dem Umweg über die Arbeit Shannons verbreitete sich dann jedoch erst die Kenntnis der Hartleyschen Arbeit international in der nachrichtentechnischen Fachgemeinschaft und über diese hinaus.

3.2.1 HARTLEYS ARBEITEN IN DER NT

Wie bei anderen der produktivsten Nachrichtentechniker steckten Hartleys Veröffentlichungen und unveröffentlichte Memoranda ein weites Gebiet innerhalb und jenseits der Nachrichtentechnik ab. Einen ersten Eindruck davon geben die 17, von Hartley zwischen 1920 und 1945 veröffentlichten [465] Aufsätze. Etwa die Hälfte davon, 8, galten der Theorie der Übertragung – der Neubestimmung eines allgemeinen Dämpfungsmaßes[466] , dem Informationskonzept, der Fourieranalyse -, ein weiteres Viertel, 4, der Akustik[467], 2 der Verstärkertechnik und 3 der Physik – der Quantenmechanik[468] und Analogien zwischen mechanischen und elektrischen Systemen.

---

[464] So z.B. Bar-Hillel (1955:97) in seiner Analyse der Semantik des Informationsbegriffes in der Nachrichtentechnik.
[465] Liste der Publikationen, Hartley Collection, A.I.P.
[466] Vergl. Abschnitt II.3.2.2
[467] Eine der wichtigsten Leistungen Hartleys stellte seine Arbeit »The Function of Phase Difference in the Binaural Location of Pure Tones« (1919) dar, in der er als erster das Richtungshören als Erkennen von Phasendifferenzen der in beiden Ohren eingehenden Wellen begriff.
[468] Seit 1925 war Hartley von Zeit zu Zeit mit Versuchen befaßt, die neue Physik (Quantenmechanik, Relativitätstheorie) wieder auf eine newtonsche Basis zu stellen, denn diese führe zu Ergebnissen, die »violate our intuitive sense of what the structure of the universe might be« (»A Wave Mechanism of Quantum Mechanics«; 1928 (M): 2 – Hartley Papers, A.I.P.). Veröffentlichte Arbeiten dazu waren z. B. »A Wave Mechanism of Quantum Phenomena« (1929) oder Hartley (1950 und 1950a)

Weitaus besser geeignet, bestimmte Schwerpunkte in Hartleys Schaffen zu erkennen und mit Veränderungen in der Technik und in Hartleys Position in F+E der BTL zu korrelieren, ist die Menge der (unpublizierten) Memoranda und Papiere Hartleys.

Zwischen 1920 und 1942 verfaßte Hartley 163 derartige Papiere und Memoranda zu den unterschiedlichsten Themen, bei einer durch Krankheit bedingten Pause von 1934 – 1938.[469]

In der Tabelle 13 sind diese Memoranda in 8 inhaltliche Bereiche aufgeteilt, und ihre Zahl für 4 zeitliche Perioden angegeben, die sich mit wichtigen Abschnitten in Hartleys nachrichtentechnischer Biographie decken.[470]

TABELLE 13: Die Entwicklung der thematischen Schwerpunkte in den unveröffentlichten Memoranda R.V.L. Hartleys von 1920 – 1942* (Q.: Liste der Memoranda, Hartley Papers, A.I.P.)

	1920-24		1925-29		1930-34		1939-42	
Gegenstandsbereich	Zahl	Anteil	Zahl	Anteil	Zahl	Anteil	Zahl	Anteil
Übertragungstechnik 1)	16	33%	8	19%	13	28%	3	12%
Übertragungstheorie 2)	7	14%	13	31%	8	17%	4	16%
Telegrafie	8	16%	1	2%	-	-	-	-
Telefonie und Akustik	11	22%	5	12%	5	11%	1	4%
Rundfunk, Drahtfunk, Tonfilm	3	6%	1	2%	-	-	-	-
Physik 3)	4	8%	12	29%	18	39%	2	8%
Schaltung, Servomechanismen,HF-Technik	-	-	-	-	-	-	13	52%
Anderes	-		3	7%	2	4%	2	8%
Hartleys Position in F+E	Western Electric		BTL-Trans-Res.		unabhängig		BTL-Consulting	

* Die Prozentzahlen sind auf ganze Zahlen gerundet, daher ergeben sich bei der Addition leichte Abweichungen von 100%;

1) enthält: konkrete Details der Übertragungs-, Verstärker-, Filtertechnik

2) enthält: Informationskonzept, Fourieranalyse, Dämpfungsmaß, Modulation

3) enthält: Materialeigenschaften, Quantenmechanik, elektrisch-mechanische Analogien

Zu dieser Tabelle sind einige Erläuterungen notwendig.

Zwischen 1920 und 1924, einer Zeit, in der Hartley sich in F+E der Western Electric vor allem auf Verstärkertechnik, Trägerstromübertragung und Akustik konzentrierte,[471] machten die drei nach der Tabelle wichtigsten Gebiete, Übertragungstechnik, Telefonie und Akustik und Telegrafie zusammen (und gleichzeitig) mehr als 2/3 seiner in Memoranda niedergelegten Überlegungen aus. Immerhin noch 3 Arbeiten waren in dieser Zeit anderen Techniken wie Drahtfunk und Tonfilm gewidmet.[472]

Von Anfang auf Ende der zwanziger Jahre verkehrte sich die Intensität, mit der sich Hartley Fragen der Übertragungstechnik bzw. -theorie zuwandte, fast genau: war das Verhältnis seiner Memoranda 1920-24 33% : 14%, so war es 1925 – 29 19% : 31%.

Obwohl die Einordnung der einen oder anderen Arbeit in diese Bereiche unklar sein mag, so ist der Trend auf jeden Fall deutlich: Verstärker-, Filtertechnik, die Diskussion konkreter Trägerstromverfahren etc. nahmen dabei ab, Papiere zu Fourieranalyse, Dämpfungsmaß und Informationskonzept nahmen zu.

---

[469] »Retirements« in BLR; 1950, 1:38

[470] Die Memoranda zwischen 1930 und 1933 sind oft kürzer und weniger vollständig, als die zu den anderen Zeitabschnitten entstandenen. Diese stellten zumeist definitive, abgeschlossene Berichte dar.

[471] »Retirements« in BLR; 1950, 1:38

[472] wie z. B. ein Papier vom 20.9.1924, »Advertising in Relation to Wire Broadcasting«.

Bereits 1922, vor Gründung der BTL, leitete Hartley in der Abteilung »Physical Research« des Engineering Department der Western Electric Co. eine der »Special Research« Abteilungen. Diese umfaßte zwei Gruppen, mit insgesamt 36 Mitarbeitern.[473] Dann – seit 1925 als »Transmission Research« Abteilung der BTL – vergrößerte sich diese Abteilung bis 1930, also der Zeit etwa, zu der Hartley die BTL verließ, auf 148 Mitarbeiter[474], *Hartleys direkter Verantwortungsbereich hatte sich beträchtlich erweitert, seine Beschäftigung mit konkreten technischen Details mußte abnehmen.*

Gleichzeitig mit dieser Entwicklung war der vollständige Rückgang von Arbeiten zur Telegrafie (von 16%, 1920-24 auf 2% 1925-29) mit der *technischen* Entwicklung und der *theoretischen* Sättigung der Telegrafie – als eines Fachgebietes – verbunden. Ein dritter Aspekt, der der Bewegung des Bell Systems oder der BTL insgesamt im nachrichtentechnischen Markt entsprach, spielte mit Sicherheit eine Rolle für das Verschwinden von Arbeiten zu Rundfunk und Tonfilm. Es sei daran erinnert, daß 1926 die AT&T sich aus dem Rundfunkbereich zurückzog und zur selben Zeit die speziellen Tonfilminteressen der Electrical Research Products, Inc. (ERPI) übertragen wurden – einer Tochtergesellschaft der Western Electric[475], was im Bell-System verblieb, war die Programmübertragung über Leitungen.

Die inhaltliche Verteilung der Memoranda des nächsten Zeitabschnittes ist weniger typisch für Technik und Aktivitätsbereich der BTL, als für Hartley selbst und seine Interessen, da er nach 1929 aus den BTL ausgeschieden war und nur noch gelegentlich und durch seine Interessen geleitet mit deren F+E Problemen in direkte Berührung kam.

In dieser Zeit hatten für Hartley Probleme der Physik, des Photoeffektes, des Piezoeffektes und der (newtonschen) Korrektur der neuen Physik die Priorität (39%). An zweiter Stelle standen Probleme der Übertragungstechnik (28%) (Hartley hielt immerhin 72 Patente[476]), dann folgte die Übertragungstheorie (17%). Dies ist insofern interessant, als es die Vermutung nahelegt, daß der überaus hohe Anteil an Übertragungstheoretischen Memoranda zwischen 1925-1929 eher auf Hartleys spezielle Position in dieser Zeit, als auf seine Intentionen zurückzuführen ist. Mit Bestimmtheit läßt sich dies aber nicht sagen, da zu viele andere Aspekte sich gleichzeitig verändert hatten.

Wieder direkt typisch für die technischen Probleme der Zeit war sein Aktivitätsbereich zwischen 1939 und 1942, als er Consulting Engineer für Transmission Problems in den BTL war.[477]

Mehr als die Hälfte seiner Memoranda galt den Problemen der Schaltung, des Zeitmultiplex, der Hochfrequenztechnik und der Servomechanismen (52%). Diese Bereiche wurden hier zusammengefaßt, weil sie einerseits in Hartleys Papieren bis dahin überhaupt keine Rolle gespielt hatten, andererseits für Veränderung der Technik in der Zwischenzeit kennzeichnend sind und zu der Wiederbelebung des Interesses an Nachrichtentheorien führten. Die gewachsene Bedeutung digitaler Techniken und der Beginn der Kriegsforschung zeigt sich darin. Die veränderte Bedeutung anderer Bereiche (wie die weitere Abnahme von Arbeiten zu Telefonie und Akustik) ist z.T. Resultat seiner anderen Position in den BTL, als separater Consulting Egineer mit einer Sekretärin[478] und nicht unbedingt die Folge technischer Trends.

Insgesamt macht diese Übersicht deutlich, wie für die Gesamtheit von Hartleys Aktivitäten innerhalb und außerhalb der NT Unternehmensaktivitätsbereich, technische Entwicklung und Abgrenzung der eigenen Position im Gesamtfeld nachrichtentechnischer Forschung von entscheidendem Einfluß wa-

---

[473] »Western Electric Company - Engineering Department - Organization of Assistant Chief Engineer - Physical Research Department«; 10.11.1922 BAA
[474] »Transmission Research Department«, Org. Chart; 1.10.1930, BAA
[475] Fagen (1972:53)
[476] 20 (Pressemitteilung) »Ralph V.L. Hartley Transmission Export Dead at 81«; 5.5.1970/2; BAA
[477] »Retirements« in BLR; 1950, 1:38
[478] »Research Consultants Department«, Org.Chart; 1.3.194o, BAA »Transmission Research Department«.Org.Chart; 1.3.1945, BAA

ren. Die in II.1.3.2 getroffenen Aussagen über die Bedeutung der besonderen Abteilung »Transmission Research« in den BTL finden hier ihre direkte Bestätigung.

Die für die Entstehung des Informationskonzeptes wesentlichen Zeitabschnitte waren die bis 1924 und 1925-29. Tabelle 14 gibt Titel und Daten einiger Memoranda und Veröffentlichungen Hartleys zu seiner Beschäftigung mit Informationskonzept und Dämpfungsmaß.

TABELLE 14: Die Memoranda und Veröffentlichungen (V) Hartleys zu Informationskonzept und Dämpfungsmaß (Q.: Memoranda for File, Hartley Papers, A.I.P.)

Datum	Titel
9.1.1918	A Fundamental Frequency-Time Relation of Electrical Communication
7.11.1921	A Fundamental Law of Communication
April 1923	Relations of Carrier and Side-bands in Radio Transmission, (V) in BSTJ 2; 1923:90
20.8.1923	The Choice of a Transmission Unit 5.9.1923 Some Principles of Code Transmission Juli 1924 The Transmission Unit, (V) in El.Comm. 3; 1924:34 5.3.1925 The Transmission Problem in Electrical Communication
Feb. 1926	Transmission Limits of Telephone Lines, (V) in BLR 1; 1926:225
11.3.1927	Frequency Relations in Electrical Communication (Como Vortrag, identisch mit dem folgenden)
Juli 1928	Transmission of Information, (V) in BSTJ 7; 1928:535
Dez.1928	»TU« becomes »Decibel«, (V) in BLR 7; 1928:137
5.1.1931	Relation between Frequency Range and Information
13.3.1939	A general theory of Physics and some Mathematical by-products. Application to Communication problems
30.7.1943	A Quantitative Measure of the Amount and Accuracy of Received Information
29.5.1946	Television from the Information Viewpoint

In der entscheidenden Zeit bis 1929 war Hartley zunächst gleichermaßen und gleichzeitig in Übertragungstechnik, Telefonie und Akustik und Telegrafie aktiv gewesen, um sich als Leiter der Abteilung »Transmission Research« dann auf allgemeinere Übertragungsfragen konzentrieren zu können und die Überlegungen bis zu einer Publikation zu bringen, die z.T. zeitlich bereits viel früher begonnen hatten (1918), wahrscheinlich mit Beginn von Kriegsentwicklungen geheimer Telefonie durch Hartley.[479]

3.2.2 DAS LOGARITHMISCHE INFORMATIONSMASS

Während bereits Nyquist in »Telegraph Speed« (1924) einen logarithmischen Ausdruck für die »Speed of transmission of intelligence« ableitete, war es erst Hartley, der den Versuch machte, ein quantitatives Maß der *»Information«*, der Nachrichtenmenge selbst anzugeben. Er tat dies erstmals in dem 1928 als »Transmission of Information« im Bell System Technical Journal veröffentlichten Vortrag, den er 1927 auf der Internationalen Tagung der Fernmeldetechniker unter dem Titel »Frequency Relations in Electrical Communication« gehalten hatte:

> »What I hope to accomplish ... is to set up a quantitative measure whereby the capacities of various systems to transmit information may be compared. In doing this, I shall discuss its application to systems of telegraphy, telephony, picture transmission and television over both wire and radio paths.« (1928:535)

Bei einem derart allgemeinen Lösungsversuch für das Problem des Leistungsvergleichs von Übertragungsverfahren für sämtliche Nachrichtentechniken war es notwendig, darauf hinzuweisen, daß dieser Informationsbegriff allein

> »based on physical as contrasted with psychological considerations« (ebd.)

[479] vergl. II.3.2.4

sei.

Wie andere der Begriffe, die Hartley zur Bestimmung seines Informationsmaßes benutzte, war auch der im folgenden näher erläuterte quantitative Begriff der Information für die Nachrichtentechnik seiner Zeit etwas Ungewöhnliches[480].Dies wird im folgenden deutlich werden.

Hartley führte die folgenden allgemeinen Begriffe ein, deren Gültigkeit er für Nachrichtenübertragung

> »conducted by wire, direct speech, writing or any other method« (1928:536)

annahm:

»*Symbols«*, zu diesen rechnete er Worte, wie auch elektrische Signale (»words, dots and dashes« -: 536), denen eine gewisse Bedeutung zukomme und mit deren Hilfe die beteiligten Parteien in Kommunikation träten. Dabei wähle der Sender bestimmte solcher Symbole aus einer Menge möglicher aus und teile sie dem Empfänger mit.

Durch einander folgende *»successive selections«* entstünde eine *»sequence of symbols«* (ebd.), mit deren zunehmender Länge die Information präziser würde. Da die

> »precision of the information depends upon what other symobl sequences might have been chosen, it would seem reasonable to hope to find in the number of these sequences the desired quantitative measure of information« (:536)

Um dabei »psychologische« Faktoren auszuschließen, sah er von jeder »question of interpretation« ab (:538) und setzte diese Selektionen als jeweils »perfectly arbitrary« (ebd.), d. h. gleichwahrscheinlich und unabhängig von den vorhergehenden Selektionen voraus. Damit bezog er sich auf die interne statistische Struktur von Symbolkollektiven, wie der Sprache, von der er hier also absah. Er tat dies mit dem Argument, von Fragen der Bedeutung, von psychologischen Faktoren abzusehen, da ein physikalisches Übertragungssystem ein Symbol so gut wie das andere übertragen können müßte – und unabhängig davon, welche Symbole vorausgegangen wären.

Dieser Terminus des »Psychologischen« war zu dieser Zeit in der Untersuchung der Verständlichkeit telefonischer Übertragungen gebräuchlich, um die Effekte des Kontextes auf die Verständlichkeit von Worten oder Silben zu beschreiben.[481]

Einer der wesentlichen Fortschritte der Shannonschen Theorie gegenüber der Hartley'schen war später die Einbeziehung der internen statistischen Struktur der jeweiligen Sprachen (Zeichenkollektive) und Botschaften. Damit gab Shannon gerade die theoretische Grundlage für die Entwicklung von Codes ohne jede Redundanz (d. h. maximalen Informationsgehaltes) um ungestörte Kanäle besser zu nutzen, bzw. – in gestörten Kanälen – durch absichtliche Erhöhung der Redundanz die Übertragung sicherer zu machen.

Auch Shannon schloß in seiner Theorie Fragen der ›Bedeutung‹ von Nachrichten aus – meinte damit allerdings deren semantischen Aspekt, während Hartley unter demselben Begriff der ›Bedeutung‹

---

[480] So registrierte ihn H.H. Harrison in dem Abstract in Science Rev. , 31; 1928, 371:615 beispielsweise als ungewöhnlich. Gar nicht auf diesen Informationsbegriff ging H. Salinger in seinem Bericht über Hartleys Papier ein (Salinger in TFT; 1928,11: 355). In der Besprechung in ENT 4; 1927, 10:437 über Hartleys Como-Vortrag wird nur von einer »mathematischen Größe« gesprochen. Das Informationsmaß als solches wurde in keinem dieser Berichte als für sich sonderlich interessant erwähnt. Man beschränkte sich auf die Erwähnung des Produktes Zeit x Bandbreite

[481] z.B. in J.C. Steinberg, »Articulation with carrier sentences« BAA, Case 320311/11.30, 1; 14.9.1927:3 und 4

etwas ausschloß, was in Shannons Theorie enthalten war, die interne Struktur von Botschaften und Zeichenkollektiven.[482] Des weiteren unterschied Hartley[483]

> »various current values as *primary symbols* and the various sequences of these which represent characters as *secondary symbols.*« (:538)

Es sei daran erinnert, daß in der Telegrafentheorie Nyquists anstelle der Begriffe der Primär- und Sekundärsymbole die Begriffe des *Signalelementes* und *Charakters*, als einer Folge von Signalelementen standen.

Die Menge an Information, die eine Symbolsequenz aus n Symbolen, die je m mögliche Werte annehmen konnten, repräsentierte, gab Hartley als den Logarithmus der Zahl verschieden möglicher solcher Symbolsequenzen an:

$$H = \log m^n = n \log m$$

Mit der folgenden Begründung wählte Hartley den Logarithmus der Zahl möglicher Symbolsequenzen anstatt dieser, m^n, selbst. Wäre m^n das Maß der Information, so

> »with this measure the amount of information transmitted would increase exponentially with the number ofselectionsand the contribution of a single selection to the total information transmitted would progressively increase. .. When we consider a physical transmission system, we find no such exponential increase in the facilities necessary for transmitting the results of successive selections. The various primary symbols involved are just as distinguishable at the receiving end for one primary selection as for another. ... In order then for a measure of information to be of practical engineering value it should be of such a nature that the information is proportional to the number of selection. The number of possible sequences is therefore not suitable for use directly as a measure of information.« (:539)

Aus diesen Überlegungen leitete Hartley dann das oben angegebene logarithmische Maß ab. Der prinzipielle Grund für die Wahl des Logarithmus war die Forderung, daß der nachrichtentechnische Aufwand zur Übertragung einer bestimmten Informationsmenge dieser, und letztendlich so der Zahl der Selektionen proportional sein sollte, die ein Sekundärsymbol bildeten. An anderer Stelle (:540) zog Hartley in diesem Zusammenhang die Parallele zum logarithmischen Dämpfungsmaß, »Transmission Unit (TU)«, später Dezibel, dessen Zweckmäßigkeit zu der Zeit heftig diskutiert wurde.[484] Dieses Maß

---

[482] Diese Unterschiede, wie auch den Zusammenhang des Hartley'schen Begriffes von »Bedeutung«, »Interpretation«, »Psychologischen Faktoren« mit dem damaligen Stand der Überlegungen in den Verständlichkeitsuntersuchungen übersieht beispielsweise Cherry (1951). In einer ersten historischen Arbeit zur Entwicklung der Informationstheorie schreibt er über Hartleys Theorie, »which may be regarded as the genesis of the modern theory of the communication of information« (:386), deren Kontinuität mit der Theorie Shannons betonend: »This work of Hartley's has a very modern ring about it; he defined information as the successive selection of symbols or words, rejecting all ›meaning‹ as a mere subjektive factor.« (ebd.). Gerade daß Hartley »Bedeutung«, d. h. nach damaligem Sprachgebrauch die internen Abhängigkeiten der einzelnen Elemente einer Nachricht voneinander, also unterschiedliche und bedingte Wahrscheinlichkeiten ausschloß, führte ihn – im Unterschied zu Shannon (der ›Bedeutung‹ als die semantische Relation ausschloß) – immer wieder zu der Notwendigkeit, qualitative Attribute der Information neben ihrer Menge einzuführen. Was also auf den ersten Blick wie eine Kontinuität aussieht, bezeichnet tatsächlich einen der entscheidenden inhaltlichen Unterschiede.

[483] Hervorhebung

[484] Da die Diskussion um das Dämpfungsmaß (»TU« versus »Nepar«) zu jener Zeit in der NT breiten Raum einnahm und hier weiterhin eine Rolle spielt, sei etwas näher darauf eingegangen:
1923 verschickte der Chefingenieur der Europa-Abteilung der International Western Electric Co., die bis 1925 als Teil der Western Electric noch mit der AT&T, d. h. dem amerikanischen Fernsprechsystem verbunden war, ein Memorandum über die Einführung eines neuen Maßes der Dämpfung in elektrischen Leitungen und Systemen der Fernsprechtechnik an die leitenden Ingenieure der europäischen Post- und Telegrafenverwaltungen.
(F. Gill an J.L. Quarry; 20.3.1923, BAA R.L. Jones – C, D-1, F-TU) Bis dato hatten die wichtigsten kontinentalen Telegrafenverwaltungen den aus der Breisig'schen Übertragungstheorie abgeleiteten Dämpfungsexponenten ßl als ein – logarithmisches – Maß verwendet (Muri an Gill; 29.1.1923:2) und die amerikanische und britische Verwaltung die »Meile Standardkabel« (Martin; 1924), eine Art elektrisches Ur-Meter mit willkürlich festgelegten elektrischen Eigenschaften.

war der (Zehner)Logarithmus des Verhältnisses von Eingangs- zu Ausgangsleistung eines beliebigen nachrichtentechnischen Systems, Kabels etc. Es löste das ältere additive Maß der amerikanischen »Meile Standardkabel« ab und sollte, wie dieses, für zwei identische *aneinandergefügte* Systeme das *Doppelte* der Dämpfung eines Systems ergeben und nicht deren Quadrat. Ebenso sollte die mit der *Nacheinanderausführung* von zwei Selektionen (aus je m möglichen Werten) verbundene Information das Doppelte der in einer Selektion aus m möglichen Werten enthaltenen Information sein und nicht deren Quadrat. Hartleys Hinweis auf die Verwandtschaft zum logarithmischen Dämpfungsmaß, TU, an dessen Entwicklung er entscheidend beteiligt war, trug ihm ein, daß z.T. sein Informationsbegriff auf dem Hintergrund dieser Debatte rezipiert wurde.[485]

Seit dieser Zeit war Hartley von logarithmischen Maßen offenbar fasziniert. So schlug er 1955 die Einführung eines generellen logarithmischen Maßes für Entfernungen oder beliebige andere Größen vor[486], das aber auf wenig Gegenliebe stieß.[487]

Bezüglich der Basis des Logarithmus seines Maßes stellte Hartley zwar fest, daß der numerische Wert der Informationsmenge von dessen Wahl abhänge, nannte aber nicht die prinzipielle Bedeutung des 2'er Logarithmus, verbunden mit der elementaren Bedeutung der Alternative als der Auswahl einer aus 2 (gleichwahrscheinlichen) Möglichkeiten.

Der wahrscheinliche Grund für dieses Übersehen des Zweierlogarithmus, dessen Verwendung erhebliche Vorteile gebracht hätte, war die bereits erwähnte Dämpfungsmaß – Debatte. So war es selbstverständlich, daß Hartley auch hier den Zehnerlogarithmus verwendete, wie es auch nicht überraschend ist, daß dieser dann bei einer deutschen Aufnahme des Hartleyschen Informationsmaßes in den natürlichen Logarithmus »übersetzt« wurde.[488] Heute wird die Einheit der Information auf der Basis des 10er Logarithmus als »1 Hartley« bezeichnet.[489]

Beide Maße hatten den Nachteil, daß sie – wie sich mit wachsender Bedeutung der Telefonie und der Wechselstromtelegrafie zunehmend störend bemerkbar machte – von der Frequenz abhängig waren. Man war sich bald darüber einig, daß das neue Maß möglichst international einheitlich, frequenzunabhängig und logarithmisch sein müsse. Letzteres um seine Anwendung additiv möglich zu machen, denn die Dämpfung hing exponentiell von der Länge der Leitung ab. Die Diskussion, die vor allem von Deutschland (Breisig) und den USA (Hartley u.a.) geführt wurde, spitzte sich bald auf einen einzigen Punkt zu, sollte der natürliche oder der dekadische Logarithmus eines Leistungsverhältnisses (Eingangs- zu Ausgangs-leistung) genommen werden. Argumentiert wurde von seiten der Amerikaner vor allem mit der einfacheren praktischen Berechenbarkeit des dekadischen Logarithmus, von seiten Breisigs und anderer europäischer Autoren mit der Einpassung des natürlichen Logarithmus in das metrische Maßsystem der Elektrotechnik und in das Einheitensystem der Elektrodynamik (Muri an Gill, a.a.O.), (Breisig; 1926), (Hartley; 1924), (Martin; 1925), (Wagner; 1923 (M)), (Pleijel; 1923 (M)). Der eigentliche Antrieb dieser Diskussion, deren Heftigkeit später unverständlich war (Schulz; 1934) lag aber woanders.
Instrumente und Tabellen der DRP und anderer, den Dämpfungsexponenten als Maß verwendender Telegrafenverwaltungen waren nach dem *natürlichen* Logarithmus geeicht, der *dekadische* Logarithmus des Leistungsverhältnisses entsprach mehr oder weniger zufällig numerisch fast genau dem alten Maß der Standardmeile (Breisig und Wagner an Gill; 23.1.1923), (Martin; 1924) und die entsprechenden Tabellen und Instrumente in den USA waren mit einem Minimum an Aufwand darauf umstellbar. Deutschland und die USA, als Träger der größten Fernsprechnetze mußten natürlicherweise die mit der Annahme des anderen Maßes verbundenen Ausgaben am meisten scheuen. An einheitlicher internationaler Regelung war besonders die International Western interessiert, die auf amerikanischen Entwicklungen basierend in Europa aktiv war. Mit der Abtrennung der AT&T von der Int. Western, die an die IT&T ging (1925) war diese direkte Brücke weggefallen, die AT&T verwendete das Dezibel (TU) und auf dem Kontinent setzte sich das Neper durch.

[485] vergl. weiter unten, Abschnitt II.3.3.2

[486] Hartley (1955)

[487] Moore (1955)

[488] Strecker (1935) vgl. Abschnitt II.3.3.2
Auch in anderen logarithmischen Beziehungen der damaligen Zeit, wie J.C. Steinbergs (BTL) Lautstärke-Formel machte sich der Effekt dieser Logarithmen-Debatte bemerkbar. Es heißt dazu in Fagen (1976:946) über diese Steinbergsche Formel, in der er mit dem dekadischen Logarithmus operierte, obgleich die Verwendung des Zweier-Logarithmus einen darin notwendigen Faktor von 10/3 eliminiert hätte:
»Few scientists in the 1920's had reason to foresee the importance which the binary notation would assume with the advent of information theory and digital computation. Moreover the use of common or base-10 logarithmus in communication was being stimulated by the Bell Systems promotion of the Transmission Unit«.

[489] Report on Infcrmation Theory and Modulation Systems Committee in IRE Trans. on lT; Sept.1955:50

Außerdem war zu jener Zeit auch technisch die nur mit zwei Stromwerten operierende Telegrafie noch keinesfalls vorherrschend, es gab noch genügend andere Systeme. Seit dem Zweiten Weltkrieg spielte die Zweiwertigkeit in Technik und Theorie von Schaltung, Pulstechnik, Datentechnik und auch in der mit einheitlichen Übertragungsverfahren arbeitenden Fernschreibverbindungen eine weit größere Rolle.

Abseits dieser technischen und anderen Bedingungen der Entstehung des Hartleyschen Informationskonzeptes, erhebt sich die Frage, wie es kam, daß Hartley allgemeine Begriffe zur Definition seines Informationsbegriffes verwendete, die in der Nachrichtentechnik der Zeit sonst nicht auftauchten.

3.2.3 DER PHILOSOPHISCHE HINTERGRUND

Anstatt von Signalen, Signalelementen, Charakteren usw. , wie es in der Nachrichtentechnik der Zeit üblich gewesen war, sprach Hartley von Symbolen erster und zweiter Ordnung oder von Symbolsequenzen. Selbst der Begriff der »Information« wurde zwar gelegentlich in der englischsprachigen nachrichtentechnischen Literatur verwendet, weitaus üblicher aber war es, von »intelligence« zu sprechen, wie Nyquist es z. B. tat (»amount of intelligence«, »transmission of intelligence«).

Auf die Quelle dieser anderen Begriffe bei Hartley findet sich bei diesem selbst und auch anderswo keinerlei Hinweis in der Literatur.[490] Mit einer Ausnahme:

W.S. McCulloch, ein zum Kreise Wieners, von Neumanns u.a. gehörender Kybernetiker nach dem Zweiten Weltkrieg machte in seinen »Recollections of the many sources of Cybernetics« (1974) die folgende Bemerkung über eine Begegnung mit Hartley um 1931.[491]

> »my Yale classmate, C.H. Prescott, working at Bell Telephone Laboratories, introduced me to an older mathematician, R. Hartley, who was trying to quantify the amount of information that could be transmitted over a noisy line and it was he who gave me a reference to the definition of information by C.S. Peirce as a third kind of quantity being the disjunction of all of those statements in which the term in question was subject or predicate, antecedent or consequent.« (McCulloch; 1974:9)

Von dieser Bemerkung muß man all das abziehen, was eher der Zeit zugehört, *in* der sie gemacht, als *über* die sie gemacht wurde. Dazu gehört, daß zwar 1974 die wichtigsten Informationstheoretiker Mathematiker waren, keineswegs aber Hartley. Dieser Fehler der nachträglichen Zuordnung Hartleys zu den Mathematikern taucht ebenso auch in einer BTL-Schrift über die Leistungen der (mathematischen) Forschung auf![492]

Ebenso ist es fraglich, ob Hartley sich zu dieser Zeit bereits mit gestörten Übertragungskanälen befaßte – deren Diskussion allerdings im Rahmen der Shannon-Theorie großen Raum einnahm. In dem einzigen Memorandum, das er 1931 zum Informationsbegriff verfaßte, »Relation between Frequency Range and Information«, schloß er Störungen der Übertragung gerade von der Betrachtung aus.[493] Von Bedeutung ist an dieser Bemerkung allein der Hinweis auf diese Begegnung und die Kenntnis, die Hartley von Peirce' Werk hatte. Er zeigt, daß Hartleys Informationsbegriff durchaus *Wirkungen*

---

[490] Obwohl eine Reihe von Autoren ausführlich den Hartleyschen Informationsbegriff diskutieren, wie Bar-Hillel (1955), Maser (1973) oder Nauta (1970), geht keiner von diesen auf den technischen, theoretischen oder eben philosophischen Hintergrund der Hartleyschen Annahmen selbst ein. Alleiniger Bezugsrahmen ist in diesen Untersuchungen die projektive Kontinuität eines Informationsbegriffes von Hartley bis Shannon. Ganz allgemein wird dann auch der Zeichenbegriff bei Peirce diskutiert im Zusammenhang mit Shannon's Begriff und philosophischen Weiterungen der Kybernetik.

[491] W.S. McCulloch (1974:9)

[492] Im Zusammenhang mit der Theorie Shannons wird auch Hartleys Arbeit unter »Mathematical Research« abgehandelt in »Notes on Development and Research«, BTL; 4.10.1948, AAA,B-2028:127

[493] »Relation between Frequency Range and Information«; 5.1.1931 BAA Case 33064

und *Wurzeln* jenseits der Nachrichtentechnik hatte. Unter der Voraussetzung, daß Hartley zu der Zeit zumindest einige Teile des Peirce'schen Werkes bekannt waren, beantwortet sich auch die Frage nach der Herkunft der für die Nachrichtentechnik der Zeit ungewöhnlichen Begrifflichkeit in Hartleys Konzept.

Wie die Begrifflichkeit, so leitete sich auch der allgemeine Anspruch eines derartigen Informationskonzeptes in der NT, der Hartley 1939 bereits von der

> »theory of the quantitative measure of information« und »theory of information« (Hartley; 13.3.1939:2 f)

im Zusammenhang mit seinem Konzept sprechen ließ und 1946 von

»information viewpoint« und »information theory« (Hartley; 1946:1)

sicher von der Kenntnis einer Grundlage dieser Überlegungen in der Logik C.S. Peirce’s her.

Die besondere Stelle des Peirce’schen Werkes, auf die McCulloch sich in seiner Bemerkung bezieht, läuft auf die folgenden Feststellungen Peirces hinaus:[494]

> »A symbol in its reference to its objects has a triple reference: First, Its direct reference to its object, or the real things which it represents; Second, Its reference to its ground through its object, or the common characters of those objects; Third, Its reference to its interpretant through its object, or all the facts known about its objects. What are thus referred to, so far as they are known, are First, The informed *breadth* of the symbol; Second, The informed *depth* of the symbol; Third, The sum of synthetical propositions in which the symbol is subject or predicate, or the *information* concerning the symbol.« (Peirce; 1960 4, 2:253)

Die Relationen zwischen »breadth«, »depth« und »information«, die er als »measure of predication« angab (a.a.O.) faßte er sodann in dem Ausdruck

»Breadth x Depth = Area«

zusammen (a.a.O. :254), wenn »we term the information the *area«* (ebenda, Hervorh. – Autor).

Die formale Analogie dieses Ausdrucks zu dem weiter unten diskutierten Ergebnis der Hartleyschen Überlegungen, wonach die übertragbare Information dem Produkt aus Übertragungsbandbreite und -zeit proportional sei, sollte nicht überbewertet werden. Es muß fraglich bleiben, inwieweit der konkrete inhaltliche Teil der Bemerkung McCullochs den historischen Fakt wiedergibt oder vielmehr dessen späterer Beschäftigung mit Peirce entspringt. Die Kenntnis eines derart abstrakten Analogons zu der von ihm abgeleiteten Beziehung hätte Hartley bestenfalls davon *abhalten* können, diese zu ändern, um den Einfluß von Störungen zu integrieren.

Der Aspekt möglicher Analogien oder Einflüsse der Peirce’schen Überlegungen auf Hartley soll hier nicht weiter vertieft werden. Die konkreten Ableitungen und Nutzanwendungen des Informationsbegriffes bei Hartley waren weitaus mehr von der Situation der Nachrichtentechnik seiner Zeit und seiner speziellen Position darin bestimmt, als von den Gedanken Peirce’s. Nur in einem Sinne kann man mit einigem Recht von einer Wurzel der Informationstheorie in der Peirce’schen Logik sprechen: der allgemeine Anspruch dieser Theorie, ihr Name, ihr philosophischer Appell, der später von Weaver (1949) und Wiener (1948) erneuert wurde, geht über Hartley auf Peirce zurück. Für einen Teil des Erfolges der Theorie außerhalb der Nachrichtentechnik nach 1948 war dies sicher von Bedeutung.

---

[494] Diese Passage war als Teil von »Upon Logical Comprehension and Extension« bereits am 13.11.1867 in vol. 7:416 der Proc.Americ.Acad. Arts and Sciences erschienen und hätte Hartley theoretisch bekannt sein können.

Ebenso haben hier die fortdauernden Klagen über die »misfortune« (Bar-Hillel; 1955:93) der Wahl des Terminus »Information« von seiten der Nachrichtentechniker nach dem Zweiten Weltkrieg ihre Wurzel.

Sei es, daß

> »to call this the theory of information is like calling the theory of grammophone recording and reproduction the theory of music« (Anscombe; 1951:62) oder
>
> »lt would seem that if Baron Münchhausen was told that his stories were improbable, he could retort that they were all the more informative« (Smith; 1951:63)

- die Rechtfertigung für den Gebrauch des Begriffes der »Information« war (in der Diskussion, aus der die beiden kritischen Bemerkungen stammen)[495]

> »if the word ›information‹ had not already caught on amongst electrical engineers I would not have used it.« (Barnard; 1951:64)

3.2.4 DIE EINBEZIEHUNG DER TELEFONIE

Der Bestimmung eines Maßes der Information bei Hartley lag zunächst die Technik der Telegrafie zugrunde.

Um ein derartiges quantitatives Maß auch auf analoge Übertragungstechniken, wie die der Telefonie anwenden zu können, mußten Entsprechungen für primäre und sekundäre Symbole gefunden werden. Zunächst betrachtete Hartley dabei *Worte* als die Primärsymbole der Telefonie:

> »on that basis s (in $H=\log s^n=n \log s$; FH.) would represent the number of available words. For the first word of a conversation, this would correspond to the number of words in the language. For subsequent selections, the number would ordinarily be reduced because subsequent words would have to combine in intelligible fashion with those preceding. Such limitations, however, are limitations of interpretation only and the system would be just as capable of transmitting a communication in which all possible permutations of the words of the language were intelligible.« (:542)

Auch hier widersprach die Abhängigkeit einander folgender Worte voneinander seiner Voraussetzung der Gleichwahrscheinlichkeit aller Primärselektionen.

Er schloß damit einen Bereich von der Betrachtung aus, in dem bereits seit Beginn der zwanziger Jahre mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik versucht wurde, die Struktur der Sprache und ihren Einfluß auf die Verständlichkeit quantitativ zu erfassen.

Im Jahr 1925 war Hartley am Rande daran beteiligt, eine »closer coordination« zwischen den die Sprechqualität der Übertragung untersuchenden Ingenieuren des AT&T-D&R-Department und denen der Abteilung »Transmission Research« der BTL vorzubereiten.[496] Ziel war es dabei, die einen mit Methoden und Problemen der anderen vertraut zu machen. Mit anderen Worten, im Detail war die Kenntnis voneinander gering.

---

[495] Die innere Inkonsistenz des Hartley'schen Informationsbegriffes wird ausführlich von Bar-Hillel (1955:93 ff.) untersucht. Hier mögen die zitierten Passagen aus der Diskussion des Papiers »TheTheory of Information« von G.A. Barnard vor der Research Section der Royal Statistical Society am 31.1.1951 genügen.

[496] Hartley an W.H. Martin; 2.5.1925 - BAA 11.30,1

In den bereits seit 1920 laufenden Anwendungen von Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik auf die Verständlichkeitsuntersuchungen[497] war um 1925-1927 die Einbeziehung des Einflusses des Kontextes von Worten oder Silben auf deren Verständlichkeit ein besonderes Problem.[498] Das Problem bestand darin, einen Ausdruck zu finden, mit dessen Hilfe die Verständlichkeit von Worten etc. sich aus der Wahrscheinlichkeit des korrekten Verständnisses der sie bildenden Silben und Laute theoretisch angeben ließ. Man nahm zunächst an, daß sich die einzelnen Teilwahrscheinlichkeiten zur Wahrscheinlichkeit des korrekten Verstehens eines Wortes multiplizieren müßte, zum sogenannten »Artikulationsindex«. Bereits zu dieser Zeit jedoch war klar, daß dies zu den empirischen Ergebnissen im Widerspruch stand, wonach die Wahrscheinlichkeit des korrekten Verstehens von Silben größer war als die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten der diese bildenden Laute.[499]Daß der innere Kontext in Worten und Silben dabei eine Rolle spielte, selbst wenn der externe Kontext des Wortes ausgeklammert war, war bekannt·[500] Mit anderen Worten, in diesen Untersuchungen war es bekannt, daß aufgrund von »certain rules« bei der Bildung von Silben, Worten, Sätzen die Verständlichkeit auf der jeweils höheren Ebene größer war als die von deren sprachlichen Bestandteilen. Diese noch im Fluß befindliche Diskussion schloß Hartley aus. Die entsprechenden Ergebnisse der Verständlichkeitsuntersuchungen, 1929 publiziert[501], spielten erst für spätere Versuche Hartleys eine Rolle, die Telefonie auf die Telegrafie zurückzuführen. Danach konnte ein System durchaus Sätze normaler Sprache hinreichend verständlich übertragen, ohne alle einer Menge unzusammenhängender Silben verständlich zu übertragen.

Bei der großen Anzahl möglicher Worte von deren Gleichwahrscheinlichkeit in der Sprache auszugehen, hätte zu phantastischen Ergebnissen führen müssen. Statt der Worte betrachteten Hartley daher die elektrischen Sprachschwingungen, wie sie als Spannungs-Zeitfunktion auf dem »oscillographic record« erschienen.(:542 f.).

Zunächst würde eine derartige kontinuierliche Funktion einen »infinite amount of information« bedeuten.

> »In practice, however, the information contained is finite for the reason that the sender is unable to control the form of the function with complete accuracy, and any distortion of its form tends to cause it to be confused with some other function.
>
> A continous curve may be thought of as the limit approached by a curve made up of successive stepts . . . when the interval between the steps is made infinitesimal. An imperfectly defined curve may then be thought of as one which the interval between the steps is finite. *The steps then represent primary selections.* The number of selections in a finite time is finite. Also the change made at each step is to be thought of as limited to one of a finite number of values. This means that *the number of available symbols is kept finite.«* (:543)

Dieser Gedankengang ist in mehrfacher Hinsicht interessant. Einmal, und hier ist ein Vorgriff auf die weiter unten noch einmal diskutierte Rolle von Störungen der Übertragung in seinem Konzept not-

---

[497] Nach der bereits weiter oben erwähnten ersten Arbeit Campbells (1910). Theoretisch bedeutsam war dann, »Application of the Theory of Probability to Articulation Data« von J.C. Stewart vom 25.5.1920 (AT&T-D&R). Eine erste empirische Überprüfung brachte »Study of speech and Telephonic Quality – ›Intelligibility‹ versus articulation« von Miss G.M. Raff vom 6.4.1921 (AT&T-D&R).

[498] So schloß das Verfahren der »Carrier Sentences« und der Auswahl von »independent words« darin (die als Leerstellen von Testpersonen nicht aus dem Kontext rekonstruiert werden konnten) den Einfluß des Zusammenhanges bereits aus. Auf dieser Auswahl beruhte dann die Ermittlung des Artikulationsindex z. B. in »Study of Speech Telephone Quality«, J.C. Steinberg; 17.9.1924 oder »Study of Telephone Quality«, K.P. Seacord; 19.3.1925.
Dabei war die Voraussetzung, »that there were no context effects« (p 5). Gerade dieses wurde dann in »Sentence and Word Articulation as Functions of Syllable Articulation«; 21.4.1926 kritisiert, da es mit empirischen Befunden anwachsender Verständlichkeit bei höherer sprachlicher Ebene (Laute, Silben, Worte, Sätze) nicht übereinstimmte.
Vergl. auch Abschnitt II.2.3
Alle angegebenen Quellen: BAA, Telephonic Quality, 11.30.1

[499] In dem letzten der oben angegebenen Papiere und in »Syllable Articulation as a Function of Letter Articulation«; 20.4.1926

[500] ebenda, p. 3 und in dem letzten der oben angegebenen Papiere, p.5

[501] H. Fletcher, J.C. Steinberg (1929)

wendig, einmal machte Hartley an dieser Stelle wesentlichen Gebrauch von dem Vorhandensein von Störungen, Ungenauigkeiten etc. in der Telefonie. Da diese nicht zu vermeiden wären – damit erhalten sie hier eine prinzipielle Bedeutung – sei die Zahl unterscheidbarer Amplitudenstufen endlich und so das Übertragungsproblem der Telefonie theoretisch auf das der Telegrafie zurückführbar.

Für diese aber, d. h. für sein gesamtes Konzept, das auf der Annahme diskreter Amplitudenstufen basierte, hatte er eingangs Freiheit von externen Störungen vorausgesetzt (:535).

Das heißt, Hartley untersuchte die Abhängigkeit der möglichen Amplitudenstufenzahl (»number of available symbols«) vom Ausmaß der Störungen nicht, was durchaus dem technischen Stand der Telegrafie der Zeit entsprach.

Die oben zitierte Reduzierung des kontinuierlichen Falles auf den diskreten machte hingegen wesentlich von dem Vorhandensein von Störungen Gebrauch, weshalb es später für Hartley wie für andere Autoren nicht allzu großer Anstrengungen bedurfte, das Signal/Stör-(Amplituden)Verhältnis und die Zahl möglicher Amplitudenstufen in Beziehung zu bringen. Bereits 1924 hatte Nyquist entsprechende einfache Überlegungen angestellt.[502]

Ein zweiter Umstand sollte bei der Beurteilung dieses Verfahrens der Reduktion der Sprech- auf eine Zeichenübertragung berücksichtigt werden. Dieses von ihm angegebene Verfahren hätten während des gesamten Zeitraumes zwischen den Weltkriegen keinerlei reale praktische Bedeutung. Dies war ein wichtiger Grund dafür, daß für die dann die NT dominierenden analogen Sprachübertragungstechniken wie Telefonie oder Programmübertragung Hartleys Theorie so gegenstandslos blieb. Auf diese Weise die Erfordernisse der Telefonieübertragung zu kalkulieren, war ohne jeden praktischen Nutzen. Gegen seine Intentionen blieb Hartleys Konzept auf telegrafenähnliche Techniken beschränkt (Bildtelegrafie, TV).[503]

Die Situation wandelte sich ebenso charakteristisch während des Zweiten Weltkrieges, als die Entwicklung derartige Verfahren praktisch realisierbar erscheinen ließ.[504] Dann wurde auch Hartleys Ansatz wieder aktuell.

In diesem Zusammenhang ist es wesentlich, die technische Quelle dieses von Hartley gebrauchten Modells, die bislang nirgendwo genannt worden ist, klar zu machen.

Während des ersten Weltkrieges hatte sich Hartley, wie Shannon einen Weltkrieg später, mit der Entwicklung eines Verfahrens geheimer Telefonie befaßt[505], was zwangsläufig auf den Versuch einer Digitalisierung der Sprechübertragung führte.

Ein entsprechendes Verfahren der Zerlegung der gesprochenen Sprache in der Telefonie in kleinste Zeitabschnitte (mit der Möglichkeit von deren anschließender Vermischung), d. h. deren diskreter Abtastung meldete Hartley 1921 zum Patent an, das 1926 erteilt wurde.[506] Dieses Verfahren, eine Pulsamplitudenmodulation, war eine der Vorstufen zur späteren Puls Code Modulation. Sowohl bei Hartley als auch bei Shannon waren wesentliche Teile der Informationskonzepte damit Resultat der – während einer Periode der Kriegsforschung – zugleich an *einer Technik* (der Telefonie) in *verschiedenen Effizienzbereichen* (geheimer und kommerzieller Übertragung) vorgenommenen Untersuchung und deren Integration in einem Konzept.

---

[502] vergl . II.3.1

[503] So wurde seine Arbeit als »Zur Theorie der Nachrichtenübermittlung « beispielsweise von H. Salinger in TFT; 1928, 11:355 unter der Überschrift »Leitungstelegrafie « referiert. Einzige US-Rezeption blieb J W Horton's Arbeit (1929) für das Fernsehen.

[504] Die Puls-Modulationen: Puls-Amplituden: es werden mit Hilfe von Kurzzeitimpulsen nur die Amplitudenwerte alle t Sekunden übermittelt. Pulsphasen: Impulse einheitlicher Amplitude variieren in ihrem zeitlichen Abstand. Puls-Code: die alle t Sekunden genommenen Amplitudenwerte werden je einem von m zugelassenen Werten zugeteilt und die betreffende Stufennummer wird dann in einem zweiwertigen Telegrafencodewort dargestellt.

[505] »War work done by R.V.L. Hartley « (1919) Hartley Collection, A.I.P.

[506] dies wird in anderem Zusammenhang in Fagen (1978:295) erwähnt.

Dies ist damit auch ein wesentlicher Aspekt bei der Beurteilung der Zeitpunkte, zu denen Informationskonzepte auftauchten in der Nachrichtentechnik.

Offenbar beeindruckt von der Fruchtlosigkeit seiner Überlegungen für die Telefonie und der Entwicklung des Vocoders revidierte Hartley 1943 in einem Memorandum dieses Verfahren der Reduktion der kontinuierlichen Sprachübertragung auf die von Zeichen:

> »lt was assumed in the earlier paper (1928 – FH.) that the duration of the unit is the period of the highest essential frequency of speech, and the number of elements, the number of distinguishable values of instantaneous pressure or current. The results obtained with the vocoder make this viewpoint untenable. These indicate that the significant variations have a maximum frequency of about twenty-five cycles.« (30.7.1943:8)

Diese entspreche etwa der Dauer eines Lautes und daher betrachtete er »the speech sound as the unit of interpretation« (ebd.)

Verglichen mit dem Bandbreitenbedarf einer Vocoder-Übertragung von Sprache hätte sein altes Konzept viel zu hohe Werte ergeben. Der springende Punkt in diesem Argument liegt in dem Begriff »significant«, d. h. der Vorstellung einer tatsächlich in der Nachricht enthaltenen Information, die in jedem Fall die für die Übertragung entscheidende sei.

Im Lichte der späteren Informationstheorie Shannons und des Begriffes der *Redundanz* ist es klar, warum der Vocoder Hartley (und andere[507]) irritierte. Unter der Voraussetzung der Gleichwahrscheinlichkeit der Selektionen, d. h. bei Fehlen des Begriffes der Redundanz konnte es trivialerweise auch nicht die Vorstellung von deren Reduktion geben. Erst der Begriff der Redundanz ermöglichte eine quantitative Verbindung zwischen der übertragenen Informationsmenge und einer »tatsächlich in der Nachricht enthaltenen Informationsmenge« als *der zu ihrer Übertragung minimal notwendigen.*

An dieser Stelle begann Hartley Gebrauch zu machen von den Ergebnissen von Verständlichkeitsuntersuchungen, Ende der zwanziger Jahre. Jetzt registrierte er beeindruckt:

> »The outstanding feature of the results is that in all cases the probability of the correct interpretation of a word is greater than that of interpreting an equal number of discrete syllables.« (30.7.1943:11)

Über die Plausibilität dieses Ergebnisses stellte Hartley zwar einige Überlegungen an, unterließ jedoch genauere Abschätzungen von relativen Häufigkeiten. Hier, wie auch später, wo er auf die genauere Betrachtung von Wahrscheinlichkeiten verzichtete, »to avoid complexity« (1946:8), wurde deutlich, daß Hartley der mathematische Apparat der Wahrscheinlichkeits theorie nicht zur Verfügung stand,[508] und daß diese Tatsache von beträchtlichem Einfluß auf sein Informationskonzept war.

Da Hartley mithin nach wie vor von der Gleichwahrscheinlichkeit der Symbole ausging, d. h. dem redundanzfreien Fall, mußte er, um dem oben erwähnten Phänomen Rechnung zu tragen, eine wichtige Unterscheidung machen, zwischen dem Betrag der Information und ihrer Genauigkeit:

> »the context contributes nothing to the amount of received information, but tends rather to reduce it .. . What it does contribute is increased accuracy. ... In general then, we may say that the

---

[507] vergl. II.3.3

[508] Dies war eine Frage verschiedener fachlicher Generationen von Nachrichtentechnikern. Die Wahrscheinlichkeitstheorie war über Verkehrstheorie (Rorty, Molina) und Mathematik (Fry, Erlang) in die Nachrichtentechnik gelangt, wie auch später über die Qualitätskontrolle in der Produktion (Shewart).
Im Laufe der zwanziger und dreißiger Jahre konzentrierten sich diese Methoden – mit den jeweiligen Mathematikern – in der Abteilung »Mathematical Research« (siehe den Abschnitt in Teil III). Die in der ersten »elektrotechnischen Phase« der Theoriebildung in der NT groß gewordenen Autoren – wie Hartley – verfügten im allgemeinen nicht über diese Methoden.

recipients knowledge of the limitations on the sender's choice plus the context, enable him to *exchange guantity of information for accuracy«* (a.a.O. :8)

Hieraus wird noch einmal deutlich, daß eine der wichtigsten Leistungen Shannons, um einen einheitlichen quantitativen Informationsbegriff bilden zu können, die Annahme unterschiedlicher Wahrscheinlichkeiten der Symbolselektionen war. Damit gab er ein quantitatives Maß für die interne statistische Struktur der beteiligten Zeichenkollektive, und es war einfach, mit Hilfe des Begriffes der Entropie

wobei p_i die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des i-ten Wertes ist, rein quantitativ zwischen tatsächlicher Information pro Zeichen und maximal möglicher (bei Gleichwahrscheinlichkeit aller) zu unterscheiden. Auf die Unterscheidung zwischen Menge und Genauigkeit der Information konnte verzichtet werden.

3.2.5 DIE ÜBERTRAGUNGSKAPAZITÄT

Die Bestimmung eines Maßes der Information war nur ein Teil der Aufgabe, die Hartley sich gestellt hatte. Der für die Nachrichtentechnik entscheidendere Teil bestand darin, die Fähigkeit konkreter ‹bertragungssysteme auszudrücken, derart bestimmte Informationsmengen zu übertragen. Als Grenze dieser Fähigkeit betrachtete Hartley allein die »limitations ... due to the transmission system itself« (:535), was für die Technik der Telegrafie und im Zeitalter noch relativ niedriger Übertragungsfrequenzen das thermische Rauschen ausschloß. Darüber hinaus nahm er das »system to be free from external interference« an (544). Die Grenzen der Übertragungskapazität waren mithin die Dämpfung elektrischer Impulse und das Verschwimmen einander folgender, die »Intersymbolinterferenz«.

Für ein bestimmtes ideales System[509] gelangte Hartley über die Berechnung der gesamten Intersymbol interferenz, die »consists of currents resulting from all of the preceding symbols« (:546) zu dem Ausdruck

(:547)

wobei die linke Seite der zuvor angegebenen Informationsmenge pro Zeit und die rechte Seite der Dämpfungskonstanten entsprach (die von den elektrischen Eigenschaften des betrachteten Systems abhing). Allein die Dämpfungskonstante bestimmte hier die Übertragungsgeschwindigkeit von Information, nicht mehr die Zahl möglicher Amplitudenstufen. Aber, so eine einschränkende Bemerkung Hartleys,

»it is of course, true that the larger this number the more suceptible will the system be to the effects of external interference« (:547).

Diese Abhängigkeit der Übertragungskapazität allein von der Dämpfungskonstanten verallgemeinerte er dann auf andere Systeme.

Bei der Ableitung der obigen Beziehung machte er entscheidenden Gebrauch von der exponentiellen Abhängigkeit der Dämpfung eines Telegrafieimpulses von den elektrischen Eigenschaften des Systems (der Dämpfungskonstante alpha) und der Zeit t. *Diese exponentielle Form der Dämpfung machte erst den zuvor definierten logarithmischen Informationsbegriff sinnvoll anwendbar.*[510] Ebenso hatte die exponentielle Abhängigkeit der Dämpfung entlang einer Leitung von deren Länge ein logarithmi-

[509] Dieses System wird von Young (1975:84) diskutiert. Ein vereinfachtes ideales Telegrafensystem.
[510] Worauf z.B. auch Young in seiner Diskussion der Hartleyschen Theorie (1975:86) hinwies.

sches Dämpfungsmaß (»TU«) sinnvoll erscheinen lassen. Zurück jedoch zu Hartleys weiterer Argumentation.

Er variierte (in einem Gedankenexperiment) die Kapazitäten und Induktivitäten eines solchen Übertragungssystems, wobei Dämpfungskonstante alpha und Resonanzfrequenz omega sich jeweils umgekehrt proportional zu den Größen C (Kapazität) und L (Induktivität) veränderten und damit direkt proportional zueinander. Die oben angegebene Beziehung ließ sich damit (nach einigen weiteren Zwischenschritten) folgendermaßen ausdrücken:

> »the total amount of information which may be transmitted over such a system is proportional to the product of frequency-range which it transmits by the time during which it is available for the transmission.« (:554)

Dieses Ergebnis, das sich formal als

[Formel fehlt]

schreiben ließe (was Hartley nicht tat), sah er selbst als Resultat des Versuches an, die Methode der Frequenzdarstellung (»steady state«), die in der Telefonie üblich sei, auf die Telegrafie auszudehnen (:551). Das gesamte Konzept der Definition eines Informationsbegriffes und der darauf basierenden Angabe der Übertragungskapazität sah Hartley als ein Mittel,

> »for bridging this gap between steady state and transient properties« (:551).

In dieser Hinsicht nahm das Informationskonzept bei Hartley dieselbe Stelle ein, wie die Fourieranalyse in der Nyquist'schen Telegrafentheorie (1928).

Dessen möglichen Nutzen – in einer Zeit des Übergangs der Telegrafie mit Hilfe der Wechselstromtelegrafie auf die Leitungen der Telefonie – gab er mit den folgenden Worten an:

> »a considerable fund of information has been accumulated with reference to the correlation between the overall performance and the transient properties of the system. A correlation therefore between the steady state and transient proDerties would offer a means of bringing this empirical information to bear on the design of apparatus and systems on a steady state basis.« (:551) – Hervorh. – FH.)

Von der Fourier-Analyse machte Hartley bei seiner Ableitung keinen Gebrauch, obwohl er sie erwähnte[511], sein Informationskonzept war ja gewissermaßen eine Alternative dazu. Der letzte Schritt in Hartleys Überlegungen bestand in der Unterscheidung zwischen »line-frequency-range« und »message-frequency-range« (:556). Dabei bezog er sich auf die früher von Carson (1922) geklärten Probleme der Einseitenbandmodulation und gelangte zu der folgenden Feststellung über die Anpassung von Botschafts- und Kanalfrequenzweite:

> »the sum of the products of frequency range by time for the messages is always equal to or less than the corresponding sum of the products of linefrequency-range by time.« (:556)

D. h. der Nachrichteninformationsinhalt müsse immer kleiner oder gleich der Kanalkapazität sein.

Soweit der wesentliche Gehalt seiner Arbeit von 1928. In den folgenden Abschnitten soll auf die Behandlung von Störungen der Übertragung in späteren Memoranda Hartleys eingegangen werden, ein-

---

[511] Wie aus seinen Aufzeichnungen hervorgeht, nahm Hartley 1929 an einem Fourier-Analyse-Kurs von T.C. Fry (Leiter »Math.Res.«) teil: »T.C.Fry course notes: Properties of Fourier Analysis«; 14.1.1929 in Memoranda for File by R.V.L. Hartley, A.I.P., Hartley Collection

schließlich eines erst 1946 verfaßten. Danach schließlich werden Leistung und Wirkung der Hartleyschen Theorie diskutiert.

3.2.6 DIE GESTÖRTE ÜBERTRAGUNG

In einigen Memoranda der vierziger Jahre behandelte Hartley einige Aspekte von Störungen der Übertragung von Information, die er bis dahin ausgeschlossen hatte. Diese Papiere enthalten allerdings keine geschlossenen Konzepte, sondern sind vielmehr Versuche, einzelne Unzulänglichkeiten seiner Arbeit von 1928 zu korrigieren. Bei der Behandlung dieser Papiere, in der Hauptsache zwei 1943 bzw. 1946 verfaßte Memoranda, ist es sinnvoll, zwischen Versuchen, die Übertragungskapazität eines gestörten Kanals in Abhängigkeit von den elektrischen Eigenschaften des jeweiligen Systems bzw. vom Effekt der Störungen auf die übertragenen Nachrichten zu unterscheiden.

Zunächst sei auf den letztgenannten Aspekt eingegangen, den Hartley 1943 in einem Memorandum, »A Quantitative Measure of the Amount and Accuracy of Received Information« näher diskutierte.

Wie bereits erwähnt, führte Hartley in diesem Papier die Telefonieübertragung auf die Telegrafie zurück, indem er die *Laute* als diskrete Einheiten betrachtete. Die Ebene der Signale untersuchte er nicht. Auch für die Telegrafie diskutierte er hier nur die Reduktion der »information capacity of the transmission system« (:1) durch fehlerhafte Zeichenerkennung am Empfänger, nicht jedoch deren Zustandekommen bzw. Determination durch die Eigenschaften des Übertragungssystems.

Hartleys Ziel war es jetzt, den Informationsgehalt und die Genauigkeit der Information bei einer gestörten Übertragung zu ermitteln. Er führte dazu die folgende Größe ein:

> »the probability, P_n, that a single transmission of a message of n elements will be interpreted correctly« (30.7.1943:2)

Die dann folgenden Überlegungen verdienen es, zitiert zu werden, da er hier den Unterschied zwischen Betrag und Genauigkeit der Information bestimmt, ein für seinen Informationsbegriff kennzeichnender Schritt, der den Unterschied zu späteren Konzepten anderer verdeutlicht:[512]

> »If we examine the information content of the received message we find that it represents the result of n selections from among m elements. Without access to the sent message, we have no reason to assume that one indication is more reliable than another, and so we may say that the *quantity of information received is the same as that sent. It's quality, however, is different.* This difference is measured by the probabiblity, P, of correct interpretation. ... We express the quality of the received message by saying that its inaccuracy is equal to log P_n« (30.7.1943:2 f.)

Mit Hilfe des folgenden Ausdruckes für die »effective information per unit« (:4) versuchte er dann, die Ungenauigkeit der empfangenen Information durch eine Reduktion der übertragenen Informationsmenge auszudrücken:

[Formel fehlt]

Dabei hatte er die vereinfachende Annahme gemacht, daß die Wahrscheinlichkeit des korrekten Empfanges für alle Zeichen gleich groß sei, d. h.

$p_n = (p_1)^n$.

[512] Hervorhebung – F.H.

Durch welche (impliziten) Annahmen gelangte Hartley zu dieser Beziehung und was leistete sie? Diese Frage ist deshalb interessant, weil die obige Beziehung auf den ersten Blick eine Art Zwitterstellung zwischen dem Hartleyschen Informationsbegriff von 1928 und der späteren Vorstellung der Information als dem Logarithmus einer Wahrscheinlichkeit einzunehmen scheint.

Zwei Beispiele führte Hartley an, für die die Beziehung sinnvolle Ergebnisse brachte, den Trivialfall *sicherer* Übertragung mit P1=1 (empfangene gleich der übertragenen Information) und den Trivialfall P1=1/m, d. h. des völlig zufälligen Ergebnisses, wobei die effektiv übertragene Information gleich Null würde:

Für die Form der obigen Beziehung spielte eine Rolle, daß Hartley sich über die impliziten Voraussetzungen, die er bei der Definition seines Informationsbegriffes gemacht hatte, hinsichtlich der beteiligten Wahrscheinlichkeiten nicht im klaren war.[513]

Schreibt man seine Beziehung für die Information/Symbol in Shannonschen Termini, wird dies klar:

$H/n = \log m = -1 \log 1/m = -m(1/m \log 1/m)$

unter der Voraussetzung der Gleichwahrscheinlichkeit aller möglichen m Werte für eine Selektion fallen Hartleysches und Shannonsches Informationsausmaß zusammen. Daß dieser Faktor 1 im Grunde die Summe von Wahrscheinlichkeiten darstellte, war daher unklar, beim zweiten Teil der obigen Gleichung fiel er daher ebenfalls (bei Hartley) weg. Mit der Shannonschen Beziehung für die effektive Übermittlungsrate fiel dieser Ausdruck daher nur in den beiden von Hartley als Beispiele angegebenen Trivialfällen P=1 und P=1/m zusammen.

Neben diesem spielte die unausgesprochene Vorstellung eine Rolle, daß eine »falsche« Übertragung keine Information enthalten könne, weshalb er lediglich die Wahrscheinlichkeit korrekter Übertragung berücksichtigte. Wozu dies in der Interpretation der Ergebnisse der obigen Gleichung führte, zeigt das dritte von ihm erwähnte Beispiel[514]:

> »If $P_1 < 1/m$, wrong interpretations occur more often than by chance and definitely *wrong information* is imparted. Under these conditions the expression for the effective information becomes negative« (a.a.O. :4)

Wieder war der Unterschied zwischen Qualität und Menge der Information notwendiges Ergebnis.

In dem Shannonschen Ausdruck für die effektive Übertragung, die sich aus der Differenz zwischen der Entropie der Nachrichtenquelle H(x) und der Äquivokation, d. h. dem Entropieverlust bei der Übertragung, H(x), ergibt, treten die Wahrscheinlichkeiten aller möglichen Übertragungsfehler gleichberechtigt neben der der korrekter Übertragung auf. Dies heißt nichts anderes, als daß bei völligem Fehlen jeder korrekten Übertragung dennoch eine feste effektive Übertragung erreicht werden kann. Für die Entzifferung von Geheimcodes ein Gemeinplatz, daß bei einfachem Austauschen von Buchstaben jede ursprüngliche Nachricht (unter gewissen Voraussetzungen)[515] vollständig rekonstruierbar ist. Dieser Hintergrund, wie auch intime Vertrautheit mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie fehlte allerdings Hartley im Gegensatz zu Shannon.

---

[513] »Implizite Voraussetzung« bezieht sich auf den Hintergrund der Shannon-Theorie, gegenüber der die Hartley Theorie als vereinfachter Sonderfall aufgefaßt werden kann. Einen anderen theoretischen Hintergrund, vor dem sich der statistische Informationsbegriff beurteilen ließe, gibt es nicht.
[514] Hervorhebung – F.H.
[515] Hervorhebung – F.H.

Hartleys Hintergrund bei der Verwendung dieser Wahrscheinlichkeit war vielmehr die »Quality Theory« der Telefonie. In dieser, auf die er sich auch in einem anderen Teil des Papiers (s.o.) explizit bezog, war versucht worden, mit Hilfe des »Artikulationsindex«, der Wahrscheinlichkeit der korrekten Interpretation eines Lautes, einer Silbe etc., den Zusammenhang zwischen Verständlichkeit von Lauten, Silben und Worten theoretisch zu ermitteln. Keine der beiden dabei verwendeten Methoden im Bereich von »Telephonic Quality« jedoch

> »attempts to measure *difficulty* of perception, both concentrate on determining *correctness* of perception« (anon.; 1926:3)[516]

Eben von daher übernahm Hartley die dem Artikulationsindex zugrunde liegende *»Wahrscheinlichkeit der korrekten Interpretation«* – obwohl er dies nicht explizit erwähnte, ist es deutlich. *Was in der kommerziellen Telefonie mit Recht als Störung der Übertragung angesehen wurde, brauchte dies vor dem Hintergrund der Kryptografie keineswegs zu sein.*

Nun zu dem zweiten oben angesprochenen Aspekt des Zusammenhanges zwischen den Störungen und anderen Eigenschaften von Übertragungskanälen. Wie bereits angedeutet, hatte Hartley bei der Ableitung des Zeitgesetzes, $H \sim \Delta f \, \Delta t$, seinerzeit externe Störungen von der Betrachtung ausgeschlossen und interne Störungen durch das Rauschen spielten in der Telegrafie der Zeit noch keine Rolle. Ebenso schloß er in einem Papier von 1931, in dem er den Versuch unternahm, das Zeitgesetz, das 1928 nach seiner Ansicht noch nicht »completely established« gewesen sei (1931:1) mit Hilfe der Methoden der Fourieranalyse gründlicher zu untersuchen, Störungen und den Fall kontinuierlicher Übertragung völlig aus. Erst 1939 korrigierte er sich in dieser Hinsicht (Man erinnere sich an die technische Entwicklung) mit den folgenden Worten:

> »At the time of the conference at Como, I had worked out some ideas on the significance of the frequency range and the time range. The matter of amplitudes and the effect of interference was not covered as successfully.« (13.3.1939:2)

Erst in einem 1946 verfaßten Memorandum, »Television from the Information Viewpoint« jedoch machte er sich konkret an den Versuch einer *Aktualisierung* des im Zeitgesetz enthaltenen Ausdruckes für die Kanalkapazität und gleichzeitig damit der Einbeziehung des Falles kontinuierlicher Übertragung. Ausgangsposition war dabei:

> »The *information theory* as originally presented is inadequate and needs to be extended.« (29.5.1946:1)«

Und zwar verlange die »constant of proportionality« (ebd.) weitere Untersuchung, wobei den »effects of external noise« Rechnung zu tragen sei. Ausgangspunkt war dabei die Reduktion des Falles kontinuierlicher Übertragung auf den Fall der Telegrafie. In dem Ausdruck n log m seien daher zwei Quantisierungen vorzunehmen.

Unter Bezug auf die Nyquistsche Abtastrate quantisierte er die Zeit und mit einer Approximation der gesendeten »ideal wave« durch eine Treppenfunktion (»actual wave«) die Amplitudenwerte. Die Stufenweite wurde danach durch die Frequenz, die Stufenhöhe durch das Ausmaß der Störungen bestimmt.

Damit gelangte Hartley schließlich zu der Formel für die Übertragungskapazität eines gestörten Kanals

»$I = 2 \, BT \log (1+s)$« (a.a.O. :6)

---

[516] »Proposed Intelligibility Testing Method «, anonym; 14.10; 1926:3 BAA. Telephone Quality 11.30,1

Diese Beziehung war weit eher mit den von Tuller, Clavier u.a. ebenfalls nach dem Zweiten Weltkrieg aus dem Hartleyschen Konzept von 1928 entwickelten Ausdrücken für die Kapazität eines gestörten Kanals vergleichbar, als mit dem Zeitgesetz von 1928. Im Gegensatz auch zu 1928 war 1946 die technische Realisation dieses Reduktionsverfahrens der Telefonieübertragung in den Impuls-Modulations-Techniken ins Blickfeld getreten. Dennoch – im Vergleich zu der Shannon'schen Theorie, dem hier nicht auszuweichen ist, da dieses Memorandum zeitlich und institutionell in unmittelbarer Nähe zu Shannons Informationstheorie entstand und Shannon, Nyquist, B.M. Oliver u.a.[517] zur Begutachtung vorgelegen hatte und mit deren Bemerkungen versehen worden war, lag dieses Memorandum hinter theoretischen Fragestellungen und Methoden der Zeit bereits weit zurück. Längst war – im Kreis der Mathematiker in den BTL und anderswo in der NT -die Nachrichtentheorie auf einer weit abstrakteren Stufe angelangt, die Beherrschung von Wahrscheinlichkeitstheorie, Geometrie mehrdimensionaler Räume und vor allem mathematischer Schluß- und Abstraktionsweise verlangte.

Vor diesem Hintergrund wurde bemängelt, daß Hartley in seinen Aussagen nicht weiterging,

> »to the point where a formula is reached correlating bandwidth and signal to-noise ratio... This formula would be interesting as a guide for experimental research«. (P. Mertz; 26.6.1946 an Hartley).

Insgesamt zeigen diese weitergehenden Memoranda Hartleys, daß ihn die »information theory« weiter beschäftigte – später, 1955, war er Mitglied der Professional Group on Information Theory -, daß er dabei etwa zur selben Zeit wie andere Autoren nahe bis an den Punkt einer Formulierung des Ausdrucks für die Kapazität eines gestörten Kanals gelangte wie diese (mit der Ausnahme Shannons, dessen Begriff weiterging).

Die Diskussion, wessen Begriffe oder Theorieelemente dabei die des anderen beeinflußten, ist müßig, Shannons Theorie war zu dieser Zeit bereits viel weiter entwickelt, sein Interesse an einer Informations- oder Kommunikationstheorie hatte sich bereits vor seinem endgültigen Eintritt in die BTL gebildet.

3.2.7 DIE WIRKSAMKEIT

Die Gültigkeit des von ihm formulierten Gesetzes H~Wt gab Hartley für Telegrafie, Telefonie, Fernsehen an und – in der folgenden Formulierung:

> »the preservation of a given amount of information in a picture requires a corresponding product of wave-number-range[518] by distance« (Hartley; 1928: 560)

für die Tonaufzeichnung in Filmen, d. h. für Nachrichten*übertragung* und -*speicherung.* Die Leistung des Gesetzes bestünde darin,

> »that it provides a ready means of checking whether or not claims made for the transmission possibilities of a complicated system lie within the range of physical possibility.« (ebd. :563)

d. h. es gebe die Grenzen der physikalischen Machbarkeit von Übertragungssystemen an. Dabei dachte Hartley – wie auch alle der Autoren, die in der Zeit danach versuchten, dieses Gesetz zu aktualisieren

---

[517] Diese waren C.E. Shannon, M.W. Baldwin, B.M. Oliver, R.E. Graham, und H. Nyquist und P. Mertz.
Die ersten vier in »Comments on ›*Information* from the *Television* Viewpoint‹« (Man beachte die im Original vorhandene Vertauschung, Hervorh.
- FH., wenn diese etwas zu besagen hat, dann das der Eindruck offenbar mehr der war, anhand des Beispiels TV die Informationstheorie weiterzuentwickeln, als umgekehrt zu den Problemen der TV wesentlich Neues zu sagen), Nyquist in einem Brief an Baldwin (4.11.1946) und Mertz in einem Brief an Hartley (26.6.1946). Hartley Collection, A.I.P.

[518] Wellenzahl = Zahl der Schwingungen pro Längeneinheit

– als Leiter der Abteilung »Transmission Research« der BTL an die Vielzahl schlecht durchschaubarer Erfindungen für bessere Übertragungsverfahren.

Die Zeit der diversen Telegrafiersysteme allerdings neigte sich dem Ende zu, worauf es bei diesen vielmehr ankam, war ihre Standardisierung und Anpassung. Für die dann dominierenden Techniken der Sprachübertragung war die praktische Anwendung der Hartleyschen Theorie zweifelhaft.

So gab es eine auf Hartleys Konzept beruhende Arbeit zur Informationsübermittlung im – der Telegrafie verwandten – Fernsehen (1929) von Hartleys ehemaligem BTL-Mitarbeiter und MIT-Ko-Lektor über »Frequency Relations in Electrical Communications« (1926), J.W. Horton. Sie blieb ihrerseits ohne größere Resonanz.

Allein in Deutschland entwickelte sich bis 1940 so etwas wie eine sporadische Folgediskussion des Hartleyschen Konzeptes, die sich in einer festen Referenzkette Hartley (1928) – Küpfmüller (1931) – Strecker (1935) manifestierte. Inhaltlich wird im Detail noch im anschließenden letzten Kapitel dieses Teiles auf die deutschen Arbeiten eingegangen.

Hartleys ursprünglicher Vortrag, 1927 in Como, obwohl gelegentlich in Besprechungen als »sehr inhaltsreich« apostrophiert[519], war im Grunde dort untergegangen – wie sich Karl Küpfmüller, einer der wichtigsten deutschen Nachrichtentechniker der Zeit und Teilnehmer später erinnerte.[520] Erst 1952 in einer durch die Shannonsche Theorie notwendig gewordenen 2. revidierten Auflage seiner »Systemtheorie der elektrischen Nachrichtentechnik« tauchte im Zusammenhang mit der dann allseits etablierten Referenzkette Nyquist – Hartley – Shannon bei Küpfmüller ein Hinweis auf Hartleys Arbeit auf, die er selbst in Como bereits 1927 möglicherweise gehört hatte.

Aus der Erwähnung, die ein anderer Teilnehmer in Como der Arbeit Hartleys widmete, Franz Breisig, wichtigster deutscher Theoretiker der Telegrafieübertragung zu jener Zeit und mit Hartley in der Debatte um den rechten Logarithmus des Dämpfungsmaßes befindlich, geht hervor, daß sein Konzept zum Teil auch noch vor dem Hintergrund dieser Debatte, d. h. in gewisser Weise »politisch« gesehen wurde:[521]

> »Hartley erörterte ein Maß, um die Leistungsfähigkeit irgend eines Systems zur Übertragung von Nachrichten festzuhalten, und wies als solches nach das Produkt aus der Breite desjenigen Frequenzbandes, in welchem andauernde Wechselströme mit im wesentlichen gleichen Wirkungsgrad übertragen werden, und der Zeitdauer, während der es zur Verfügung steht. Zur Frage des Übertragungsmaßes gehört *auch* der Vortrag von Breisig, welcher eine einheitliche Form für logarithmische Maße von Verhältnissen physikalischer Größen gleicher Art forderte, und zwar unter der bisher allgemein üblichen Anwendung natürlicher Logarithmen.« (Breisig; 1927:15)

Generell machte Hartleys abstraktes logarithmisches Informationsmaß – anwendbar nur auf die Telegrafie – keinen nachhaltigen Eindruck auf andere Berichter, die alle die Zeit-Bandbreite-Beziehung natürlicherweise in den Vordergrund stellten.

Eine der ersten deutlich positiven Reaktionen auf Hartleys Konzept war ein Vortrag, den Fritz Lüschen, Gründer des Siemens-ZL und einer der wichtigsten deutschen Nachrichtentechniker und F+E-Leiter dieses Gebietes am 8.4.1932 vor der britischen Institution of Electrical Engineers (IEE) in London gehalten hatte. Dieser, als »Moderne Nachrichtensysteme« veröffentlicht, markierte den Beginn

---

[519] »Tagesereignisse« in ENT 4; 1927, 10:437

[520] Daran, Hartley auf der Como-Konferenz gehört zu haben, konnte er sich nicht mehr erinnern, dessen Veröffentlichung 1928 aber sei »untergegangen«: »Ich erinnere mich noch genau, wie ich's dann 1928 gelesen hatte und dachte, ‚naja, ist ja ganz interessant, aber man kann ja nichts damit anfangen«. (Küpfmüller; 1976, Interview)

[521] Hervorhebung – F.H.

einer kleinen »Hartley-Rezeption« in Deutschland. Lüschen, zu jener Zeit Leiter des Siemens & Halske Kabelwerkes[522], bezeichnete darin die Hartleysche Zeit- und Bandbreitenbeziehung als

> »eine der wichtigsten Erkenntnisse der letzten 10 Jahre« (Lüschen; 1932: 171).

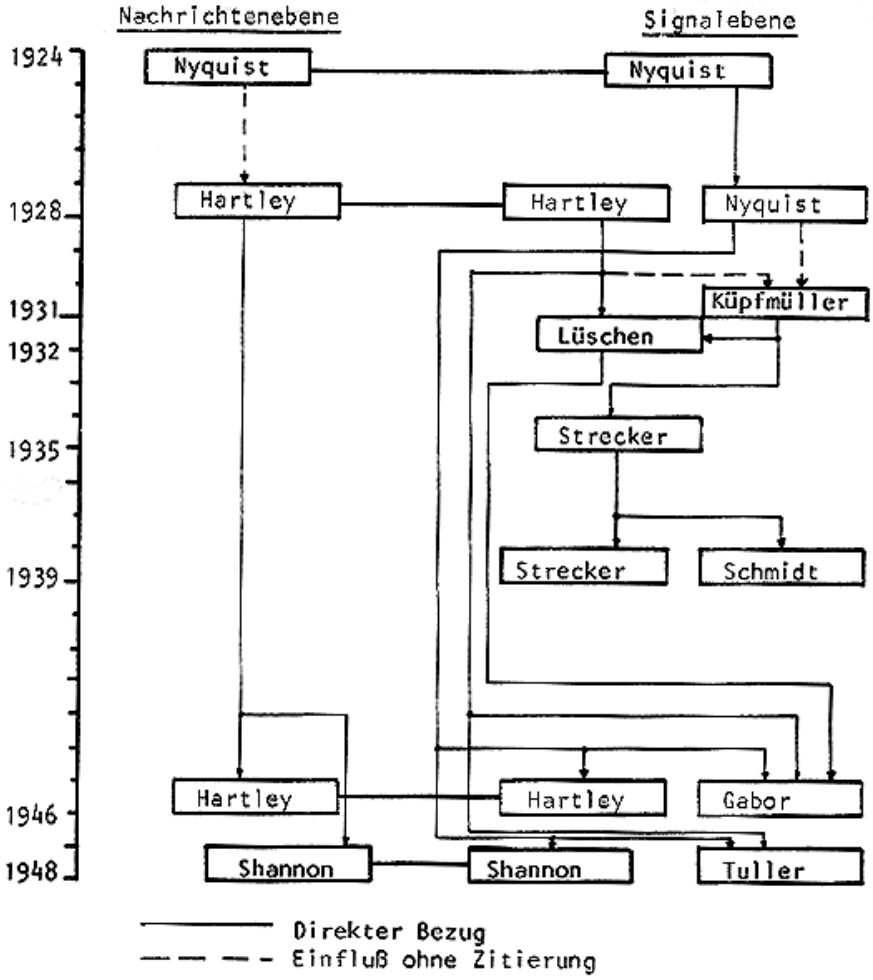
Aufgrund dieser Beziehung bleibe

> »der Wunsch zahlreicher Erfinder, ein leistungsfähigeres Übertragungssystem dadurch zu erhalten, daß sie das Frequenzband der Sprache am Anfang der Systeme kontinuierlich zusammendrücken und am Ende dehnen, ein schöner, aber unerfüllbarer Traum.« (a.a.O.)

Lüschen, langjähriger F+E-Leiter, wie Hartley, hatte mit seinem Papier Einfluß auf Gabor, der sich darauf bezog (1946) und Siemens-Mitarbeiter gewesen war, bevor er 1933 nach England emigrieren mußte. [523]Die Abbildung 13 (weiter unten) gibt einen Überblick über die Referenzkopplungen der besprochenen Arbeiten.

[522] Lüschen war zu dieser Zeit Leiter der Siemens-Kabel-Gemeinschaft und stellvertretendes Siemens-Vorstandsmitglied. Er war 1920 Leiter des Kabel-Laboratoriums und späteren Zentrallabors (ZL). (Fritz Lüschen zum 60. Geburtstag, EFD 46; 1937:197 f.)
[523] Über die Tatsache seiner Beschäftigung bei Siemens bis 1933, bei BritishThomson-Houston ab 1934: »D.Gabor« in IRE Trans. Inf. Theory; Sept.1959:96.

ABBILDUNG 13: Referenzkopplungen nachrichtentheoretischer Arbeiten zwischen 1924 und 1948



In »Nachrichtenfluß und Frequenzbandbreite« ging F. Strecker, Siemens-ZL, Leiter des Einzellabors ›Weitfernsprechsysteme‹[524] 1935 auf Hartleys Konzept ein. Die Eingangspassage dieses Aufsatzes ist charakteristisch für die Probleme, die eine Beschäftigung mit der Hartleyschen Zeit-Bandbreite-Beziehung nahelegten. Da die deutschen Arbeiten zwischen den Weltkriegen in den Darstellungen der IT-Geschichte nie auftauchen, sei sie zitiert[525]:

> »Das Thema ›Nachrichtenfluß und Frequenzbandbreite‹ berührt eine große Zahl von Vorschlägen, nach denen gegebene Übertragungskanäle wesentlich besser ausgenutzt werden sollen, ohne die Güte der Übertragung zu mindern. Meistens wird dabei verlangt, daß die Nachrichtenströme durchgreifend geändert werden, vielfach in einer Art und Weise, die bisher wenig oder gar nicht untersucht worden ist. *In der Regel verfügt man nicht über die Mittel, um theoretisch etwas über die Wirksamkeit dieser Vorschläge auszusagen. Man wäre also darauf angewiesen, jedes dieser Verfahren praktisch zu erproben.* Diese Schwierigkeit soll der Satz aufheben, nach dem die größte über ein System übertragbare Nachrichtenmenge dem Produkt aus der Frequenzbandbreite und der Belegungszeit des Systems proportional ist. ... *Wenn dieser Satz gilt,*

[524] SAA Li 869, ZL-Jahresbericht 1934:35
[525] Hervorhebung – F.H.

spielt er eine ähnliche Rolle wie das Gesetz von der Erhaltung der Energie gegenüber dem perpetuum mobile.« (Strecker; 1935:227)

Der theoretische Wert des Hartleyschen Satzes (auf den sich Strecker dann auch explizit bezog) wurde also bereits zu jener Zeit durchaus gesehen. Allerdings hatte Strecker es mit Fernsprechsystemen zu tun und nicht mit solchen der Telegrafie. Bei dem Versuch einer entsprechenden Erweiterung des Hartleyschen Informationsmaßes konstatierte er jedoch:

»Wenn man die angedeuteten Gedankengänge auf die Sprachübertragung anwenden will, stößt man auf Schwierigkeiten« (a.a.O.:228)

und kam nach weiteren ‹berlegungen zu dem Ergebnis:

»Da der bisher benutzte Begriff der Nachrichtenmenge für das Fernsprechen wenig geeignet ist, empfiehlt es sich, einen zweckmäßigeren zu suchen, der zu der üblichen Weise, die Leistungsfähigkeit von Fernsprechsystemen zu beurteilen besser paßt.« (:229)

Eine einheitliche Theorie mußte er allerdings dann aufgeben und

»den Begriff des Nachrichtenflusses anders bestimmen .. . je nachdem, ob es sich um Sprache oder um die formgetreue Übertragung von Kurven handelt« (a.a.O.)

Die inhaltlichen Einzelheiten dieses Versuches, Hartley's Konzept auf die Verhältnisse der Telefonie, zu einer Zeit, als ihre digitale Übertragung mit Pulsmodulationen noch fern lag, zu erweitern, werden weiter unten diskutiert.

An dieser Stelle genügt es zu zeigen, daß nach *zeitgenössischem* Verständnis Hartleys Konzept für die Telefonie unbrauchbar war, um praktische Ergebnisse zu erzielen. *Keine andere Stelle der Literatur macht dies so deutlich.* Man erinnere sich auch an Hartleys Versuch, 1943 unter dem Eindruck des Vocoders den Versuch der Reduzierung der Sprach- auf eine *Zeichenübertragung auf der Ebene der Sprachlaute* zu unternehmen.

Selbst 1946, als Hartley in seinem Memorandum – zu der Zeit beginnender Anwendungen von Puls-Modulationstechniken – wieder auf die Amplitudenabtastung als Mittel der Digitalisierung zurückgekommen war, war Nyquist nach dessen Lektüre der Ansicht:

»The theory is particularly applicable to telegraphy, but as far as I know it has little bearing on telephone transmission (other than voder type).« (Nyquist an Baldwin; 4.11.1946)

Auch die spätere Informationstheorie war essentiell auf diskrete Techniken beschränkt. Kontinuierliche Fälle ließen sich nur behandeln, indem man sie mit Hilfe von Qualitätskriterien auf den diskreten Fall zurückführte. Allerdings sorgte später die zunehmende Verbreitung technischer Verfahren dieser Reduktion in Gestalt der Pulstechniken, wie auch die Verbreitung digitaler Rechner für die fortdauernde Aktualität der späteren Theorie.

Ebenso war die »Wiederentdeckung« der Hartleyschen Arbeit in den USA in den vierziger Jahren eine Folge der wachsenden Bedeutung des Fernsehens. In diesem Zusammenhang muß man auf ein Editorial aus dem Jahre 1945 in der Zeitschrift »Electronics« zurückgehen,[526] das für die Anerkennung von Hartleys Arbeit in den USA entscheidend war und gewissermaßen den Zeitpunkt ihrer Wiederentdekkung oder beginnenden Aktualität markierte.

[526] Henney (1945)

Mit Hinblick auf die Beziehung zwischen Bandbreite, Zeit und übertragener Informationsmenge hieß es dort:

> »it seems impossible to determine just who first recognized these relationships. lt is probably one of those things that workers in the field began to understand a little at a time, and was recognized and utilized in one way or another long before any complete formulation was attempted. Although it may be impossible – certainly most difficult – to prove that Hartley discovered this relationship, it is undoubtedly true that he was the first to publish a formulation of it.
>
> In the absence of knowledge concerning the actual discoverer of the ›law‹, if indeed such a discoverer exists, it seems eminently fair that the relationship between bandwidth, quantity of information and time be known, henceforth as the ›Hartley Law‹ and such honor to R.V.L. Hartley is hereby proposed.« (Henney; 1945:1)

Seitdem war das »Hartley-Law« das Grundprinzip der Nachrichtenübertragung – allerdings nur für 2 Jahre. Im Jahr 1947 erschien ein zweites ElectronicsEditorial (D.G. Fink, »Hartley«), in dem erstmals eine revidierte Fassung (unter Berufung auf W.G. Tuller) veröffentlicht wurde. Unterstrichen wurden Hartleys Verdienste mit der Verleihung der IRE-Medal of Honor« für dieses Gesetz an Hartley im Jahr 1946.[527] Zu dieser Zeit war es bereits klar, daß dieses Gesetz einer Reihe von Faktoren, die in der Entwicklung während des Krieges für die Nachrichtenübertragung eine Rolle zu spielen begonnen hatten, nicht Rechnung trug. Vor diesem Hintergrund nahmen die Versuche zu, die Grenzen des gerade »etablierten« Gesetzes klarer abzustecken.

Unter diesen Umständen ist es von Interesse, wie es zu dieser Wiederbelebung der Hartley'schen Theorie gekommen war.

Ein im Anhang IV in Teilen wiedergegebener Briefwechsel zwischen W.C. White (General Electric) und Lloyd Espenschied (BTL) von 1949 gibt darüber Aufschluß. Danach war unmittelbarer Anlaß dieser Wiederentdeckung das Fernsehen und die für dessen hohen Bandbreitenbedarf *wieder von vielen Erfindern vorgeschlagenen Systeme* zu dessen Reduktion. Es bestand dann das Bestreben, einen Namen zu haben für die physikalischen Grenzen von Übertragungssystemen, um nicht immer »several sentences to identify this relationship« (White; 1949:1) nötig zu haben. Mit dem Fernsehen tauchte wieder die Frage der *Übertragungsgeschwindgikeit* auf, die mit diskreten Übertragungsverfahren, wie der Telegrafie verbunden ist und sich in der Telefonie zwischen den Weltkriegen ganz anders gestellt hatte.

Im Jahr 1949, nach der Veröffentlichung der Shannonschen Theorie, hieß es dann jedoch:

> »The first step in solving the communication problem is to show that Hartley's Law is not true.« (Roddam; 1949(b):113)

3.3 DIE DEUTSCHEN AUTOREN: ZEITGESETZ DER ELEKTRISCHEN NACHRICHTENÜBERTRAGUNG

> Die besondere Bedeutung der Sprachübertragungstechniken in den dreißiger Jahren ließen den Hartley'schen Ansatz – vor allem dessen Informationsbegriff (das einheitliche Maß Hartley's für den Leistungsvergleich verschiedener Übertragungstechniken) – als praktisch nicht verwendbar erscheinen. Geeigneter war in dieser Zeit für diesen Zweck der weitaus unschärfere

[527] Notiz in BLR 1946, 3:123

Begriff des »Buchstaben«. Der Informationsbegriff, obschon bekannt, wurde nicht weiterentwickelt.

Vorbemerkung:

Eine gewisse Linie allgemeiner theoretischer Überlegungen zur Nachrichtenübertragung hatte sich zwischen den Weltkriegen in Deutschland, der zweitwichtigsten »Fernmelde-Nation« entwickelt. Angefangen von der ersten Arbeit Küpfmüllers (1924) über die Aufnahme von Gedanken Hartleys (1928) durch Lüschen (1932) und Strecker (1935) bzw. der Entwicklung ähnlicher Überlegungen durch Küpfmüller (1931) und dessen Formulierung eines »Zeitgesetzes« der elektrischen Nachrichten-Übertragung bis zu den Arbeiten von Strecker (1939), Küpfmüller und Storch (1939) und Schmidt (1939),in denen verschiedene Übertragungssysteme mit Hilfe des Begriffes des »relativen Frequenzbedarfes« für einen übertragenen Buchstaben verglichen wurden und schließlich der Küpfmüllerschen »Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung« (1949), bestand hier eine zusammenhängende Diskussion.[528] Später, nach dem Bekanntwerden der weitergehenden englischen und amerikanischen Arbeiten *nach dem Krieg* verkürzte die historische Betrachtung der Entwicklung der Nachrichtentheorie sich auf die Tradition Nyquist-Hartley-Shannon – bzw. Gabor -. Die im Folgenden besprochenen Arbeiten tauchen in keiner der Bibliografien oder historischen Arbeiten zur Entwicklung der Informationstheorie mehr auf. Diese Arbeiten übten andererseits zum Teil direkten Einfluß auf die »Theory of Communication« von Dennis Gabor (1946) aus und zudem wird an ihnen deutlich, warum Hartley's Theorie in den Dreißiger Jahren nicht brauchbar war. Paradoxerweise erwies sich in dieser Zeit das in diesen Arbeiten verwendete Konzept des »Buchstaben« als Grundeinheit aller Nachrichtenübertragungen als fruchtbarer als das der »Information«

3.3.1 KARL KÜPFMÜLLER

Die erste Stufe zur Formulierung eines »Zeitgesetzes« der Nachrichtenübertragung wurde von Karl Küpfmüller in seiner nach dem Zweiten Weltkrieg oft zitierten – wohl aber selten dann tatsächlich gelesenen Arbeit von 1924, »über Einschwingvorgänge in Wellenfiltern« betreten.

Noch 1924 waren in der nachrichtentechnischen Fachgemeinschaft Vorstellungen weit verbreitet, bei der Unterbringung von Telegrafiesignalen in Wechselstromkanälen gäbe es keine Begrenzung. Da Telegrafie lediglich Gleichstrom verlange, könne man beliebig viele Telegrafenkanäle in einer derartigen Übertragungsstrecke einrichten. Die Leistung dieser Küpfmüller'schen Arbeit bestand nun darin, erstmals das quantitative Verhältnis zwischen der bis zum Erkennen eines Telegrafierimpulses notwendigen Einschwingzeit und der Bandbreite der übertragenen Frequenzen angenähert anzugeben. Entsprechend großen Widerspruch erntete er zunächst dafür intern im Siemens-ZL.[529] Man erinnere sich, daß auch die entsprechende, 1928 theoretisch abgeleitete exakte Beziehung von Nyquists Kollegen nicht widerspruchslos hingenommen wurde.

Ebenso wie bei Nyquists Arbeit von 1924 – etwas später als Küpfmüllers erschienen und die korrekte Beziehung nennend, nicht aber deren Bedeutung so klar erkennend wie diese – stand die Telegrafie im Vordergrund und die Frage nach der Telegrafiergeschwindgikeit und der für diese notwendigen Durchlaßweite (»Lochbreite«) eines Wellenfilters. Er leitete die Beziehung ab (:150). *»Telegrafiergeschwindigkeit«* war bei Küpfmüller die Übertragungsgeschwindigkeit der Impulse, *»Telegrafierzeichen« (:142)* oder *»Buchstaben«* (:143) die Gruppen derartiger Impulse, die Nyquistschen »Characters« oder Hartley'schen »Symbolsequenzen«, und *»Punktzeichen«* (:143), die einzelnen Impulse,

---

[528] Versuche geringeren theoretischen Niveaus, eine einheitliche Sicht der Nachrichtenübertragung zu gewinnen, die von den erwähnten Arbeiten keine weitere Notiz nahmen, waren z. B. Lehner (1930) oder das Konzept der »Nachrichtenträger in der Fernmeldetechnik« von F. Lubberger und M. Schleicher (1931). Ziel dieser Arbeit war es, zu »schildern, wie man den geistigen Inhalt einer Nachricht in verschiedene elektrische Zustände verwandeln kann und welche ›Nachrichtenträger‹ für die verschiedenen Aufgaben passen« (1931:1527).

[529] Küpfmüller (1976, Interview)

Nyquistschen »Signalelemente« oder Hartley'schen »Symbole«. Die obige Beziehung leitete Küpfmüller aus theoretischen Überlegungen über Qualitätskriterien der empfangenen Zeichen, Einschwingvorgänge und deren Frequenzspektren sowie einer Reihe von empirischen Tests ab. Er hatte sie nicht aus der Theorie der Fourieranalyse abgeleitet und auch nicht die Annahme idealer Filter (die ein fest abgegrenztes Frequenzband übertragen und außerhalb dessen nichts) dabei gemacht. Nach einer Reihe weiterer Tests kamen Lüschen und Küpfmüller 1927, in »Über die Wahl der Trägerfrequenzen für die Tonfrequenztelegraphie« zu der Beziehung

[Formel fehlt]

Eine weitere Leistung der Küpfmüllerschen wie auch der Nyquistschen Arbeit war der neue Gesichtspunkt der in die Theorie eingebracht wurde, die allgemeine Beschreibung eines Systems und erst daraus die Herleitung bestimmter Eigenschaften der einzelnen Teile.[530]

Man erinnere sich, daß diese Arbeit Küpfmüllers in der wichtigsten zeitgenössischen Bibliographie des Gebietes unter »Elektrophysik-Theoretische Elektrotechnik«, die Nyquistsche aber unter »Telegrafie auf Leitungen, Betrieb« eingeordnet worden war.[531] *Dies geschah in Kongruenz mit den institutionellen Einbindungen beider Autoren: Siemens-ZL (Produktion) und AT&T-D&R (Betrieb).* Im Einklang auch mit dieser Einteilung traf zwar Nyquist in seiner Arbeit einen erstmaligen und deutlichen Unterschied zwischen Nachrichten- und Signalübertragung, ja sogar zwischen Nachrichten- und Buchstaben (»character«)Übertragung, nicht aber Küpfmüller, der ausschließlich die Signalebene betrachtete. Ein Telegrafierzeichen konnte bei ihm sowohl ein Signalelement (»Punktzeichen«) als auch eine Gruppe solcher sein.

Einen Schritt weiter ging Küpfmüller in einer weithin unbekannt gebliebenen,[532] nur auf Schwedisch erschienenen Arbeit von 1931, »Ausgleichsvorgänge in der Telegrafen- und Telefontechnik«.[533] Zu dieser Zeitwaren ihm nachweislich die Arbeiten Hartley's und Nyquist's von 1928 bekannt[534] und Küpfmüller selbst lehrte an der TH-Danzig. Ohne sich auf Hartley oder Nyquist zu beziehen, leitete er in dieser Arbeit das

»Zeitgesetz der Telefonie und Telegrafie« ab, ein deutsches Äquivalent zu dem Hartley'schen Satz über Zeit-Bandbreite-Information:[535]

> »Dieses Gesetz sagt aus, daß das Produkt aus der Übertragungszeit *für einen Buchstaben* und der erforderlichen Frequenzbandbreite bei einer beliebigen Übertragungsform konstant ist unabhängig von der Übertragungsgeschwindigkeit ... Das Zeitgesetz läßt einen Vergleich der Kapazität jeder Übertragungsmethode mit verschiedenen bekannten Methoden zu. Auf der anderen Seite gibt es die Grenzen an, innerhalb derer sich die Entwicklung der Technik halten muß ... die untere Grenze für die Konstante k . .. (ist) K=1/2. Dieser Wert kann also nie unterschritten werden, wie die Technik sich auch verhält.« (Küpfmüller; 1931:19)

Formulierung wie Zielsetzung dieses Satzes lassen Anklänge an den Hartley'schen Satz erkennen, allerdings mit zwei wichtigen Unterschieden. Auf den Hartley'schen Informationsbegriff und dessen Definition verzichtete Küpfmüller vollends und operierte statt dessen mit einem verallgemeinerten Begriff des »Buchstaben«, *gesprochen* (Telefonie), *als Zeichen* (Telegrafie) oder *abgebildet* (Bildtelegrafie), den er als kleinste konstante Nachrichtenmenge begriff. Dabei ist es wichtig hervorzuheben,

---

[530] Ein Aspekt, der nach Küpfmüllers späterer Erinnerung auch für Konflikte bei der Reaktion der Fachkollegen auf die Arbeit sorgte (Küpfmüller, 1976, Interview).
[531] In JBET 13 (1924)
[532] Weder in den Bibliografien zur Informationstheorie noch in der Liste seiner Publikationen, die seiner Biografie in Frequenz vol 21;1967,9: 268 f. beigefügt war
[533] Deutsche Übersetzung in SAA »Küpfmüller« (Seitenzahlenangaben nach dieser Übersetzung)
[534] vergl. oben sowie Brief Nyquist an Küpfmüller; 23.2.1928 - BAA Case 6.022 Telegraph Transmission, in dem er diesem einen Sonderdruck zusandte.
[535] Hervorhebung – F.H.

daß dieser Verzicht auf den Informationsbegriff zu jener Zeit einen *Fortschritt* darstellte, denn mit jenem ließen sich praktische Angaben für die Telefonie oder Programmübertragung des Rundfunk gar nicht machen!

Diese, von Küpfmüller auf den Buchstaben bezogene, aber weiter zunächst nicht interpretierte Konstante k konnte er dann für sämtliche Übertragungsverfahren der Zeit numerisch angeben. Diese wurden dadurch in eine sinnvolle Reihe gestellt, mit

k=1,9 für Gleichstromtelegrafie,

k=40 für Bildtelegrafie und

k=8O – 170 für Telefonie

als empirische Werte realer Übertragungsverfahren (a.a.O.:20), Angaben, die auch von Gabor (1946:442) noch benutzt wurden. Als einfachster Buchstabe war dabei von Küpfmüller das telegrafische Punktzeichen angenommen worden und für dieses der Minimalwert für k mit K=1/2 angegeben. Formal dargestellt wäre das vollständige Küpfmüllersche Zeitgesetz daher

[Formel fehlt]

Es ging darin in seiner Allgemeinheit über die Nyquistsche Beziehung zwischen der Zahl der Signalelemente (N) in einem Zeitabschnitt (T) und der zu deren Erkennung notwendiger- und hinreichenderweise zu Übertragenden Bandbreite (f),

[Formel fehlt]

hinaus und über den Hartley'schen Satz insofern, als erstmals das Minimum des Produktes Zeit-Bandbreite angegeben wurde. Formal war es identisch mit der Gaborschen Logon-Bezieung.[536] Es bestand auch eine direkte Linie von dieser Arbeit zu der 15 Jahre später erschienenen Arbeit Gabors. Dieser bezog sich darin auf Lüschen (1932), der sowohl HartIey's Zeit-Bandbreite Beziehung als auch Küpfmüllers Zeitgesetz mit dem Minimalbetrag von k, k=1/2 darin erwähnte (Lüschen; 1932). Wie Lüschen war auch Gabor zu jener Zeit noch bei Siemens.

Abgeleitet hatte Küpfmüller die obige Beziehung unter Verallgemeinerung der für ein Punktzeichen der Telegrafie geltenden Beziehung (a.a.O. :11)

[Formel fehlt]

mit der oberen Grenzfrequenz f_0 und der Einschwingzeit Tau , auf »Buchstaben« und ihren Bandbreitenbedarf allgemein. Im Gegensatz zu Hartley konnte Küpfmüller sich 1931 bereits auf die inzwischen publizierten Verständlichkeitsuntersuchungen »der letzten Zeit« (a.a.O. :13) stützen, die empirische Daten Über den Zusammenhang zwischen der Übertraoung verschiedener Frequenzbänder und der Verständlichkeit geliefert hatten.[537] Die danach notwendigen Frequenzen drückte er als Einschwingzeiten aus und machte sie so denen bei der Zeichenübertragung der Telegrafie vergleichbar, um dann das »Zeitgesetz« als allgemein gültig annehmen zu können.

Erst 1939 in »Fernsprechen und Fernschreiben« gaben Küpfmüller und Storch eine Interpretation der bis dato noch anonymen, ein jedes Übertragungssystem charakterisierenden Größe k als den »relativen Frequenzbedarf des betreffenden Nachrichtenmittels«, (1939:6)

---

[536] Vgl. III.3.1

[537] eine Quelle gab er dabei nicht an, wahrscheinlich ist aber von Fletcher (1929) die Rede

d. h. als den Quotienten aus Übertragungsfrequenzbereich und der Zahl der übertragenen Buchstaben.

Dieses Konzept tauchte auch in Küpfmüllers »Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung« (1949 1 und 1952 2)[538] später auf (1949:163 ff.): relativer Frequenzbedarf, Buchstabe als »Nachrichteneinheit« (1949:165) und die Darstellung verschiedener realer Übertragungssysteme in einem logarithmischen Frequenz-Zeitdiagramm (1949:167) bildeten dabei die Grundlage des »Zeitgesetzes«.

In diesem Diagramm trug Küpfmüller nicht eigentlich die Zeit und Frequenz, sondern die Dauer und die Frequenzbandbreite, also t und f auf. Das zeigte deutlich den Unterschied in der Interpretation seiner Beziehung $\Delta t \cdot \Delta f = k >= 1/2$, die ja formal zunächst identisch mit der Gaborschen Beziehung $\Delta t \cdot f >= 1/2$ war. Gabor nämlich trug in seinem »Informationsdiagramm« tatsächlich Zeit und Frequenz auf und erhielt so Flächen $\Delta t \cdot \Delta f$, die für das ideale Übertragungssystem mindestens die Größe 1/2 haben mußten – die »Informationselemente« »Logons«, die Einheitsflächen in diesem Diagramm. Die unterschiedlichen impliziten Denkmodelle, die hinter diesen unterschiedlichen Interpretationen gelegen haben, könnte man als die der »Grenze der technischen Realisierungsmöglichkeiten« (Küpfmüller) auffassen, eine in der NT übliche Darstellungsweise des Annäherns realer an ideale Leistungskurven etc. und die des »Elementarteilchens« (Gabor), was dessen Orientierung an der Physik wie auch der Bezeichnung »Logon« entspricht.

An anderer Stelle seiner »Systemtheorie« untersuchte Küpfmüller auch das *Problem der Störungen* eines Übertragungssystems und deren Folgen:

> »Die in jedem wirklichen Übertragungssystem vorhandenen Störungen haben die eigentümliche Konsequenz, daß die Zahl der Nachrichten, die in einem bestimmten Übertragungssystem während einer bestimmten Zeit übermittelt werden können, absolut begrenzt ist.« (:347)

Obwohl Küpfmüller in der Literatur des entsprechenden Kapitels die kurz zuvor erschienene Arbeit Shannons angab, ist es wahrscheinlich, daß die folgende Ableitung bereits zuvor unabhängig von ihm formuliert worden war. Erst in der zweiten Auflage, 1952, notwendig geworden durch die »neuere Entwicklung in der Nachrichtentheorie« (1952:111), ging er auch inhaltlich auf Shannon ein und revidierte insbesondere die im Folgenden zitierte Passage über die Rolle von Störungen vollständig im Shannonschen Sinn (siehe nächsten Absatz).

Die Behandlung des Störproblems 1949 durch Küpfmüller (:347 ff.) ähnelte eher den Arbeiten Hartleys (1946), Tullers (1948) oder Clavier's (1947) als denen Shannons.

Bei einem Störverhältnis Rho (»Verhältnis von Störamplitude zu Nutzamplitude« (1949:317)) sei die Zahl der unterscheidbaren Amplitudenwerte 1/Rho womit er zu der Aussage gelangte:

> »Allgemein ist die Zahl der Nachrichten, die auf einem beliebigen System mit der Grenzfrequenz fg und dem Störverhältnis Rho übertragen werden können, gleich der Zahl der Variationen aus 1/Rho Elementen zur t/T-ten Klasse[539]. Diese Zahl ist

« (:348)

mit $t/T = Pi/2\ f_g \cdot t$ der Zahl der in der Zeit t hintereinander sendbaren, d. h. unterscheidbaren Impulse der Dauer T.[540]

---

[538] Diese entstand aus Vorlesungen an der TH Berlin, 1937-1943. Da der Zusammenhang mit den älteren Arbeiten Küpfmüllers größer ist, als mit den während des Krieges in den USA entstandenen – in der hier interessierenden Hinsicht wird auf diese Arbeiten bereits hier eingegangen.

[539] D. h. bei t/T einander folgenden Werten oder in Hartley'schen Begriffen einer Symbolsequenz der Länge t/T

Um zu einem quantitativen Maßstab zu gelangen, verglich er dieses allgemeine M mit einem identischen M für den Fall der klassischen Telegrafie, mit $M = 2^n$ und erhielt damit das

> »Maß für die *Nachrichten-Grenzkapazität* des Übertragungssystems«. (1949:348)

als deren Maß er das alte Maß der Telegrafiergeschwindigkeit, Baud, vorschlug. Dieses Maß, durch den Vergleich mit der Telegrafie gewonnen, machte die Interpretation des Ergebnisses kompliziert, da Küpfmüller nicht mit dem Informationsbegriff operierte:

> »Der betrachtete Kanal erlaubt ... die Übertragung so vieler verschiedener Nachrichten von 1 sec Dauer, wie es einfache Telegrafierzeichen aus je . .. (C) Stromschritten gibt.« (1949:348)

In der zweiten Auflage von 1952 fiel dieser gesamte Abschnitt fort und wurde durch einen Abschnitt »Das erweiterte Zeitgesetz der elektrischen Nachrichtenübertragung« ersetzt (1952:347) in dem die Shannonsche Theorie referiert wurde unter Verwendung von dessen Begriffen der Entropie bzw. Information, der Kanalkapazität etc.. Dennoch war noch in dieser Auflage durchaus eine »Koexistenz« mit dem (alten) Zeitgesetz möglich, Über das er unverändert sprach (1952:163) – mit dem einen feinen Unterschied, daß er es jetzt nicht mehr auf den Buchstaben als *der Nachrichteneinheit,* sondern als *einer möglichen «Nachricht«* bezog, der Begriff der »Nachrichteneinheit (NE)« (1952:348) war nun für das Shannonsche »erweiterte Zeitgesetz« reserviert und dessen Einheit, das Bit. Die oben zitierte Interpretation von C vereinfachte sich damit 1952 entsprechend.

Nun auch, 1952, zitierte Küpfmüller erstmals Hartley (1928).

Die Beibehaltung seiner Darstellung des »relativen Frequenzbedarfes« für einen Buchstaben bei verschiedenen Übertragungssystemen zeigte, daß diesem auch dann noch ein zumindest anschaulicher Wert zukam und die Angaben, weil empirisch ermittelt und nicht theoretisch abgeleitet mit der Shannonschen Theorie verträglich waren.

Soweit die Küpfmüllerschen Arbeiten, die ihn bis 1949 zu zwei grundlegenden Gesetzen über die Grenzen der elektrischen Übertragung von Nachrichten führten:

Dem Zeitgesetz der el. Nachrichtenübertragung (1931) und der Beziehung für die Nachrichten-Grenzkapazität (1949) eines gestörten Kanals. Von dem ersten bestand eine direkte Wirkungslinie zu der Arbeit Gabor's von 1946, das letzte zeigt, wie weit verbreitet nach dem Krieg die Versuche waren, die Kapazität eines gestörten Kanals anzugeben. In Teil III werden noch eine Vielzahl weiterer derartiger Versuche besprochen. Das Phänomen gleichzeitiger, aber unabhängig voneinander entstandener Formulierung theoretischer Gesetze reduziert sich in der Technik auf den Überall in ähnlicher Weise für die Theoretiker des Gebietes spürbaren technischen Wandel – dessen einzelne Fragenkomplexe durch die Organisation der Forschung allerdings in unterschiedlicher Weise *zusammengefaßt* werden. D. h. *die Detailfragen sind überall ähnlich, je abstrakter sie werden, desto mehr unterliegen sie dem Einfluß der Forschungsorganisation.*

3.3.2 LÜSCHEN, STRECKER, SCHMIDT

Küpfmüllers Zeitgesetz und Hartleys Satz wurden erstmals zusammen von Lüschen (1932) erwähnt und als wichtigste theoretische Arbeiten zur Nachrichtentechnik der damaligen Zeit referiert, in dessen IEE-Vortrag »Moderne Nachrichtensysteme«.

---

[540] Diesen Wert hatte er aus der Beziehung zwischen »Grenzfrequenz und Punktfrequenz« (:158) in der Telegrafie, t = 1/2 f, so wie einigen empirischen Überlegungen gewonnen.

Eingehender befaßte sich mit Hartley (1928) aber erst F. Strecker, mit einem Versuch Hartley's Überlegungen für die Telefonie fruchtbar zu machen in »Nachrichtenfluß und Frequenzbandbreite« von 1935.

Zunächst die Hartleyschen Gedanken referierend kam Strecker zu dem Ausdruck für den »Nachrichtenfluß« (1935:227), die »in der Zeiteinheit gesendete Nachrichtenmenge«

[Formel fehlt]

mit der Einheit Q_o, der Dauer eines einzelnen Stromschrittes Tau und m - der Zahl der Intensitätsstufen.

Diese Beziehung – man beachte die »Übersetzung« des dekadischen Logarithmus in den natürlichen zur Zeit der Dämpfungsmaß-Debatte – ist ähnlich der 1924 von Nyquist angegebenen Beziehung für die »speed of transmission of intelligence«. Obwohl Strecker die Beziehung zwischen Bandbreite und Impulsdauer kannte – er zitierte Küpfmüller (1931), wo diese abgeleitet war, vollzog er diesen weiteren Schritt nicht explizit oder formal, der eine Relation zwischen Bandbreite und Kanalkapazität gebracht hätte.

Wie oben bereits erwähnt, interessierte Strecker nicht die Telegrafie, sondern die mögliche Anwendung der Hartleyschen Gedanken auf die Telefonie. Auch Strecker *verzichtete auf den Hartleyschen Informationsbegriff* und sah vielmehr, Küpfmüller folgend, einen Buchstaben als eine für alle Techniken »konstante Nachrichtenmenge« an (1935:228).

Der Begriff des Nachrichtenflusses schien ihm notwendigerweise verschieden sein zu müssen, wenn es

a) um die »formgetreue Übertragung« von Kurvenzügen ginge – in welchem Falle es ohne weiteres möglich sein müsse,

> »die Zahl der Intensitätsstufen und Zeitstufen, die unterschiedlich sein sollten, d. h. die Güte der Übertragung fest(zu)setzen und dann die stetige Kurve durch eine springende (zu) ersetzen. Demnach müssen die für die gewöhnliche Telegraphie angestellten Betrachtungen angenähert auch für diesen Fall gültig sein.« (1935:228)

Dieses war der im wesentlichen 1928 von Hartley beschrittene Weg gewesen.

b) um Übertragungsarten ginge, bei denen andere Kriterien die Güte der Übertragung bestimmten – wie z. B. der Telefonie, mit der Strecker im Siemens Zl befaßt war, wo

> »man bekanntlich die Kurvenform nicht zu erhalten (braucht), es können vielmehr sehr erhebliche Phasenverschiebungen der verschiedenen Frequenzen gegeneinander vorkommen, die die Form zerstören, ohne daß die Verständlichkeit beeinträchtigt wird.« (a.a.O.)

Und eben für derartige Systeme »stößt man auf Schwierigkeiten« mit dem Hartleyschen Ansatz.

Die Unterscheidung nach verschiedenen Qualitätskriterien, *Formerhaltung* der Kurve und *Verständlichkeit* der ankommenden Signale verdient es, festgehalten zu werden. Die späteren Techniken der Digitalisierung der Telefon- und anderer Übertragungen nach dem Zweiten Weltkrieg machten davon Gebrauch, daß Formerhaltung zwar keine *notwendige*, aber zumeist *hinreichende* Bedingung für verständliche Übertragung war.

Auch die Shannonsche Theorie beschränkte sich auf den Fall diskreter Signale:

> »Intrinsic to the strict-sense (Shannon-)theory is a restriction to discrete or telegraph-like signals. Generalizations to signals taking a continuum of values have never successfully concealed this restriction; they have all made use of ›quantizing‹, or reduction to a discrete situation.« (MacMillan, Slepian; 1962:1155)

Nur mit Hilfe von Qualitätskriterien für die empfangenen Signale war eine derartige Reduktion möglich – zumeist mit der Formerhaltung als hinreichender Bedingung. Die Kriterien der Verständlichkeit sind weitaus komplexerer Natur, wie auch deren Korrelation mit den Systemeigenschaften. Ein Bereich, den man im Zeitalter der Digitalisierung nach dem Zweiten Weltkrieg für digitale Techniken lange vernachlässigt hatte, wie beispielsweise Goodman, McDermott und Wakatani (BTL) hinsichtlich der »Subjective evaluation of PCM-coded speech« 1976 feststellen mußten. Dies sei vermerkt, um zu verdeutlichen, daß es die *relative Bewegung von Technik und Theorie* zueinander war, von der der Erfolg der Theorien stark abhing. So waren das Auf- und Ab der Wirkung der Hartleyschen Theorie, wie auch der Erfolg der Shannonschen zu einem großen Teil von der sich wandelnden relativen Bedeutung analoger und digitaler Übertragungstechniken bestimmt.

Zurück jedoch zu Strecker und dessen Versuch, Hartleys Theorie auf die damals vorherrschende analoge Übertragungstechnik der Telefonie anwendbar zu machen, sie für die Telefonie »zu ergänzen« (1935:227).

Dabei ging Strecker davon aus, die

> »übertragene Nachricht ... als eine zweifache Mannigfaltigkeit nach Frequenz und Zeit« (1935:229)

darzustellen.[541]

Anhand dieser Diagramme ließen sich unterschiedliche Übertragungssysteme der Telefonie – durch Freguenzteilung und/oder -kompression und/oder *Zeit*teilung (-multiplex) und/oder -kompression (Beschleunigung) – als Versuche darstellen, die Flächen gegebener Signale (»Nachrichten«) zu verkleinern um Einsparungen in Übertragungszeit oder Bandbreite zu erhalten.

Damit kam Strecker schließlich – nach Verwendung einer Reihe von empirischen Ergebnissen über den Zusammenhang zwischen Verständlichkeit und Frequenzcharakteristik der Übertragung – zu dem Satz:

> »Bei einem Fernsprechsystem ist die wirksame Bandbreite höchstens gleich der Bandbreite, die der wirklichen gleichwertig ist.« (:229)

Dabei ist die *wirksame Bandbreite* – die für einen festen Wert der Verständlichkeit in der anderweitig ermittelten empirischen Beziehung Bandbreite-Verständlichkeit (also aus einer empirischen Tabelle) zugeordnete Bandbreite.

Die *wirkliche Bandbreite* – die von dem Übertragungssystem tatsächlich beanspruchte und die der *wirklichen gleichwertige Bandbreite* – die bei einem System der sukzessiven Belegung verschiedener Frequenzbänder durchschnittlich zu einer festen Zeit gerade belegte Bandbreite.

Im Klartext besagte jener Satz nichts anderes, als daß jegliche Manipulationen in Zeit- und Frequenzverteilung von Telefongesprächen keine Reduktion der, für die schließlich erzielten Verständlichkeit aus empirischen Befunden als mindestens notwendig ermittelten (»wirksamen«) Bandbreite bewirken könne.

---

[541] Unter Bezug auf die erstmalige Verwendung einer derartigen Darstellung im US-Patent No. 1821004 vom 2.7.1929 von A. Carpe.

Mit Hilfe dieses Satzes machte er sich dann daran, eine Vielzahl derartiger Übertragungssystem zu beurteilen, die ansonsten schwer in ihrem Effekt zu überschauen waren:

> »Es gibt eine Menge zum Teil recht verwickelter Vorschläge, die entgegen diesem Sätze eine bessere Ausnutzung der vorhandenen Bandbreite zum Ziel haben.« (1935:229)

Bei der Bewertung von Übertragungsverfahren mit künstlicher Sprache mußte er sich allerdings damit begnügen, die Gültigkeit dieses Gesetzes nur zu »vermuten« (1955:231).

Andere Systeme, wie die Vermischung von Gesprächen in den Gesprächspausen miteinander hielt er danach für theoretisch möglich, »obgleich mit der praktischen Durchführung dieses Gedankens nicht zu rechnen« sei (1935: 230). Nach dem Krieg wurde ein derartiges System auf der Transatlantikverbindung eingesetzt (TASI). 1939 jedoch war es bereits seit längerem klar, daß dieses Streckersche Gesetz so nicht gelten konnte, der Vocoder stellte ein Gegenbeispiel:

> »Der Mutmaßung von F. Strecker steht die Behauptung von Homer W. Dudley entgegen.« (Schmidt 1939:170)

Strecker verzichtete dann auch im gleichen Jahr in seiner Arbeit »Fernsprechen, Fernschreiben und Fernsehen über Leitungen« (1939) völlig auf jede weitere Diskussion seiner Vermutung und jeden weiteren Versuch, die Hartley'schen Überlegungen für die Telefonie zu erweitern. Lediglich in dem Abschnitt »Fernschreiben« (1939:221) ging er wiederum auf den »Satz vom Nachrichtenfluß und der Frequenzbandbreite, der häufig auch das Zeitgesetz der Nachrichtentechnik genannt wird« ein (ebd.). Er bezog sich dabei wiederum auf Hartley (1928) – Küpfmüller (1931) und Strecker (1935) – allerdings eingeschränkt auf den Fall der Telegrafie. Diese gewann zu jener Zeit als Fernschreiberei gerade wieder an Bedeutung.

Einziges praktisch anwendbares Mittel, verschiedene Übertragungssysteme in ihrer Leistung zu vergleichen, blieb die Küpfmüllersche Konstante k -hier noch als »Maß für die Wirtschaftlichkeit eines Übertragungssystems« (1939:221) angesehen. Die Benennung als »relativer Frequenzbedarf« für einen Buchstaben erfolgte wie erwähnt erst 1939 durch Küpfmüller und Storch.

Wieder war allerdings dabei der Buchstabe die Einheit der Betrachtung, obwohl Strecker sich der Probleme dieser Auffassung bewußt war.

Zu welcher Schlußfolgerung diese Betrachtensweise führen konnte, wird besonders deutlich in der Arbeit »Ergebnisse und Aussichten der Zusammendrängung des Frequenzbandes« von K.O. Schmidt (1939). Ziel von dessen Arbeit war es wieder,

> »die wichtigsten der bisher bekannten Verfahren zu erörtern und ihre Grenzen, soweit es nach heutigem Stand der Technik möglich ist, anzugeben.« (:150)

Bei dem anschließenden Vergleich der Leistungen unterschiedlicher Übertragungstechniken kam er – auf dem Buchstaben als der Einheit der Nachricht bei allen Techniken fußend – zu dem Schluß:[542]

> »Dieser Vergleich zeigt deutlich, daß die *Telegrafie* bei weitem die *größte Nachrichtenmenge* in der Zeiteinheit übertragen kann.« (Schmidt, 1939:161)

»Nachrichtenmenge« wurde dabei natürlicherweise als die Zahl der Buchstaben verstanden, die in einer Nachricht enthalten waren, da der »relative Frequenzbedarf« für einen Buchstaben in der Telegrafie (Zeichen) geringer war als in Bildtelegrafie (Abbild) und Telefonie (gesprochen), war der Schluß nur logisch. Er ist andererseits *diametral entgegengesetzt* der späteren Feststellung, wonach die

[542] Hervorhebung – F.H.

Telegrafie gerade den *geringsten* Nachrichtenfluß in bit/sec erlaubt. Die mit beiden Vorstellungen verbundenen Ansichten der technischen Entwicklung: von der Telegrafie über die Telefonie zum Fernsehen »abwärts« zu immer geringeren bzw. »aufwärts« zu immer größeren Nachrichtenübertragungskapazitäten.

Für die Betrachtung der Telegrafie hatte Schmidt allerdings nach der Eingangs-Feststellung, »das Grundelement einer Nachricht ist die Änderung« (a.a.O. :157) zunächst den Hartleyschen Exponentialansatz, Menge der Nachrichten = mögliche Stromwerte hoch Zahl der Grundelemente je Gruppe, übernommen. Er folgte jedoch dann ebenfalls nicht dem Kurs von dessen Informationsbegriff, sondern der Küpfmül lerschen Veral lgemeinerung des Buchstaben – vom Punktzeichen über das Telegrafierzeichen (Gruppe von Punktzeichen) zum Buchstaben. An keiner Stelle gab es eine definite Trennung zwischen Signal- und Nachrichtenebene. Für den Vergleich verschiedener Übertragungstechniken war dies zu jener Zeit das nützlichere Konzept. Auch Schmidt stützte sich dabei auf die Referenzkette Hartley (1928)- Küpfmüller (1931)-Strecker (1935).

In der Tabelle 15 sind abschließend noch einmal die Leistungen der diskutierten Autoren zusammengestellt und in Abb. 13 ist die Wirkung der Hartleyschen Arbeit auf die deutschen Autoren in Gestalt des Referenzmusters veranschaulicht.

3.4 ZUSAMMENFASSUNG

TABELLE 15: Bestimmungen der Information und der Zeit-Bandbreitenbeziehungen in nachrichten-technischen Arbeiten zwischen den Weltkriegen

Jahr	Autor	F-E Inst.	Zeit/Bandbreite	Inform.Begr.	Interpretation	technische Fragestellung
1924	Küpfmüller	Siemens ZL			Feste Beziehung zwischen Durchlaßweite eines Wellenfilters u. erreichbarer Telegrafiergeschwindigk.	Unterbringung von Telegrafierkanälen im Frequenzmultiplex
1924	Nyquist	AT&T-D&R »Telegraph Signaling«		W = K log m	»line speed« ist Hälfte der Signalelemente/Zeiteinheit numerisch gleich »speed of transmission of intelligence« ist dem Logarithmus der Zahl der zur Verf. stehenden Stromwerte proportional	Leistungsvergleich von Telegrafiersystemen und Signalformen
1928	Hartley	BTL- »Transmission Research«		H=n log m	übertragbare Information ist dem Produkt aus Zeit und Bandbreite proportional Betrag der Information ist der Logarithmus der Zahl möglicher Nachrichten	Leistungsvergleich zwischen verschiedenen Ü-techniken und deren Grenzen
1928	Nyquist	AT&T-D&R »Signaling, Picture, Transmission«			Notwendige und hinreichende Bandbreite zur erkennung von N Signalelementen in der Zeit T.	Qualitätskriterien und optimale Signalformen in der Telegrafie
1931	Küpfmüller	TH-Danzig			Einschwingzeit eines Punktzeichens ist durch obere Grenzfrequenz bestimmt. Übertragungszeit x Bandbreite für die Übertragung eines Buchstabens ist für jedes System charakteristisch. Konst., die mindestens ½ sein muß.	Darstellung des Gebietes, Leistungsvergleich verschiedener Techniken

III Kriegsforschung und Mathematik (1940-1948)

»The war is one of unparalleled speed. Success depends on rapidity of communication, and of detection and interception of the enemy. The time-scale of earlier wars is no guide; science must be as rapid in dealing with new problems as its products must be rapid in bringing the enemy to action. The essence of effective communication is speed; the essence of effective cooperation in research is speed.« (A.v. Hill, Sekretär der Royal Society; 17.6.1941)

1. FORSCHUNG UND AUSBILDUNG

VORBEMERKUNG

Die großen Industrielabors im Fernmeldewesen der USA waren in ihren Forschungsprogrammen jeweils auf spezielle Problemzusammenhänge konzentriert, die den verschiedenen Nachrichtentechniken entsprachen, wie RCA auf Funk- oder die Bell Laboratories auf Telefon-und Fernschreibtechnik. Getrennt voneinander durch Patent- und Antitrustrecht, waren die Forschungsprogramme dieser Labors so stabil wie die Anwendungsbereiche der jeweiligen Techniken.

Der Krieg änderte dies in mehrfacher Hinsicht.

Es tauchten neue Problemzusammenhänge auf, die quer zu diesen Forschungsprogrammen lagen und die Kooperation vieler F+E Labors erforderten. Sie waren viel schneller veränderlich als die bisherigen Programme und verlangten dennoch stets intensivste Anstrengung aller beteiligten Institutionen (und Personen). Zu ihrer Koordinierung bedurften sie einer »interinstitutionellen« Forschungsbehörde, die bei all diesen Änderungen als stabile Einheit bestehen bleiben konnte. Forschung, wie auch Betrieb und Produktion der neuen Geräte und Systeme verlangten eine deutliche Verlagerung der wissenschaftlich/technischen Ausbildung: Wissenschaftler aller sich mathematischer Methoden bedienenden Disziplinen mußten sich mit nachrichtentechnischen Problemen befassen; die Ausbildung wissenschaftlich/technischen Nachwuchses wurde in Richtung nachrichtentechnischer und elektronischer Kurse verschoben.

Besonders Methoden der mathematischen Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie verbreiteten sich von Mathematik, Atomphysik, Ökonomie, Produktions- und Verkehrsanalyse kommend über weite Gebiete.

Die zentrale Kriegsforschungsorganisation der USA (NDRC) brachte nicht nur interinstitutionelle Kooperation, sondern schuf auch neue Forschungszentren an den Hochschulen. Besonders die Problemkomplexe von Radarentwicklung und -nutzung etablierten Kommunikationsnetze zwischen den Wissenschaftlern und Technikern verschiedener Institutionen, die – unter anderem inhaltlichem Dach – noch lange nach dem Krieg sichtbar waren.

Für gewisse kurze Zeitabschnitte in der Geschichte der Entwicklung eines Informationsbegriffes in der Nachrichtentechnik mag es möglich sein, sich in sinnvoller Weise auf die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen technischer und theoretischer Entwicklung beschränken zu können. Für die Veränderungen jedoch, die der Zweite Weltkrieg brachte, genügt dies keineswegs.

Ließ sich die Entwicklung in den Zeiten des technischen Wandels unter dem Dach der großen Anwendungs- und Effizienzbereiche der kommerziellen Telegrafie, Telefonie und des Rundfunks noch hinreichend genau durch das quantitative Wachstum der technischen Installationen und des Umfanges ihrer Nutzung – wie auch damit zusammenhängend durch die qualitativen Veränderungen der technischen Entwicklung beschreiben, so lag das Besondere des Überganges zur Kriegsforschung vielmehr in der vollständigen Durchsetzung neuer Leistungsanforderungen, als Rahmen der technischen Entwicklung. Diese Bewegung, die nach dem Krieg wieder, wenn auch nicht vollständig, rückläufig war, läßt sich nur in der Dimension der Organisation der Forschung beschreiben.

1.1 ORGANISATION DER KRIEGSFORSCHUNG IN DEN USA

In keinem anderen Land spielten zivile Wissenschaftler in ihr eine derart große Rolle wie in den USA.

Dies war zusammen mit der großen Entfernung der USA von den direkten Operationsgebieten des Krieges die Ursache für die Grundlagenorientierung der US-Kriegsforschung – verglichen mit der anderer Länder. Gerade der ständige und schnelle Wandel der Effizienzbedingungen für die Optimierung von Techniken war eine der Konstanten der technischen Entwicklung während des Krieges.

Die Kontraktnetze der zivilen US-Kriegsforschungsorganisation (NDRC) integrierten – nach militärischen Problembereichen und Techniken geordnet -die verschiedensten Forschungsorganisationen der USA. Sie brachten zentrale Koordination bestehender, dezentral lokalisierter F&E-Einrichtungen, wie auch die Einrichtung neuer zentraler Großlabors.

Innerhalb eines Kontraktnetzes waren Forschung und Entwicklung von der Produktion getrennt, was für maximalen Fluß von technischem Wissen zwischen den beteiligten Institutionen sorgte. Die verschiedenen Kontraktnetze waren voneinander durch die Geheimhaltung getrennt.

Die Umstellung auf die Kriegsforschung war in den großen F+E Einrichtungen der kriegführenden Parteien total.[543] In den USA war dies etwa ab 1940 der Fall und erreichte um 1944 den Höhepunkt. War beispielsweise militärische Kontraktforschung in den Bell Telephone Laboratories noch 1939 mit nur 0,8% am Etat beteiligt, machte sie 1944 82% aus![544]

Die wichtigsten Regierungsbehörden, die in den USA in der Kriegsforschung und Entwicklung engagiert waren, waren die Streitkräfte (Army, Navy), das National Advisory Committee on Aeronautics (NACA) und das Office of Scientific Research and Development (OSRD).

Tabelle 1 gibt einen Eindruck von der Verteilung der Mittel zu Beginn des Krieges (1940) und auf dem Höhepunkt der Intensität von Forschung und Entwicklung (1944).

TABELLE 1: Verteilung der staatlichen Mittel für Forschung und Entwicklung zu Beginn des Zweiten Weltkrieges und auf dessen Höhepunkt in den USA (Q. : Furer;1950:46)

	1940	1944
Army	13	289
Navy	14	168

[543]Dazu sei eine Stimme des Bell Laboratories Management zitiert: »The combined load of war developments and the war needs of the Bell System forced us early in the war to forego almost completely all of our normal lines of forward-looking research, so that we have continued to carry on only that telephone work which was essential to the efficient operation of the telephone system« (Buckley;1944/45:240)

[544] siehe Diagramm 1

NACA	7	33
OSRD	-	156

in Millionen $

In der Kriegsforschung keiner anderen Partei des Zweiten Weltkrieges spielten die zivilen Wissenschaftler eine derartige Rolle wie in den USA. Die Funktionsverteilung zwischen den oben angeführten Institutionen war in etwa die, daß die NACA sich auf die Forschungs- und Entwicklungsprobleme der Flugzeugtechnik konzentrierte, Army und Navy vor allem mit Industrielabors Entwicklungskontrakte unterhielten, während grundlegendere Forschung wie auch Entwicklung über OSRD-Kontrakte in Hochschul-, Industrie- und anderen Forschungslabors abgewickelt wurden.

Die Kriegsforschung in den industriell am meisten entwickelten kriegführenden Staaten des Zweiten Weltkrieges, in den USA, Großbritannien, Deutschland und Japan war zu unterschiedlichen Anteilen vom Militär kontrolliert.[545] Nach der Einschätzung des OSRD-Historikers, J.P. Baxter, läßt sich dafür etwa die folgende Rangfolge abnehmender militärischer Kontrolle angeben: Japan, Deutschland, Großbritannien, USA.[546]

Effiziente Koordination und Flexibilität der Forschung nahmen mit größerem Einfluß ziviler Wissenschaftler zu.

Besonders die USA – vom Kriegsschauplatz hinreichend weit entfernt -sahen die »organization of large-scale engineering work« als ihre »choice of a battle front« an (Sullivan; 1942:170).

In zweierlei Hinsicht spielte die größere Entfernung der USA vom Kriegsschauplatz eine Rolle für die Form der Kriegsforschung. Einmal waren sie in der Zeit vor dem Krieg viel weniger auf diesen vorbe-

---

[545] In Japan hatte z. B. die vollständige militärische Kontrolle von F+E, zusammen mit traditioneller Feindschaft zwischen Heer und Marine zu vollständig getrennten Radar-Entwicklungsprogrammen geführt: ein japanisches Marine Erkennungssystem konnte japanische Heeres-Fl ieger nicht von US-Flugzeugen unterscheiden und analog für das Erkennungsgerät des Heeres. (Baxter; 1968:10). Man konnte sich in den USA schwerlich ein System von F+E vorstellen, das der japanischen Sache abträglicher gewesen wäre (ebd.:11). Zwar wesentlich effektiver als die japanische, aber bei weitem nicht so einheitlich koordiniert wie die amerikanische Forschung und Entwicklung war die deutsche. Eine britische Untersuchung der deutschen Kriegsforschung sprach nach dem Krieg von ‚inadequate coordination of associated branches of industry« (B.I.O. S.29; 1950: 39) in Deutschland, weshalb die dortige nachrichtentechnische Entwicklung in ernsthaften Rückstand geriet. Von »Zersplitterung«, fehlender »einheitlicher Ausrichtung« und »Mangel an Fachpersonal« in der deutschen Kriegs F+E spricht Reuter (1971:192 f.). Insgesamt sei die deutsche Forschungskapazität der der Gegner etwa im Verhältnis 1:10 unterlegen gewesen, darÜber hinaus aber noch auf »rund 100 verschiedene meist kleine und kleinste Laboratorien aufgeteilt« (ebd.). Von einem »wirren Durcheinander der Abteilungen, Institute und Produktions~rogramme« in der deutschen Radarentwicklung spricht Bley (1949:38).
Allein zwei F+E-Organisationen in der deutschen Kriegsforschung sieht Bley, wo »Professoren, Ingenieure, Soldaten, Politiker« gleichberechtigt waren, die 1943 unter der Leitung von Ing. Leo Brandt gebildete »Rotterdam Kommission« – die sich mit der Entwicklung von Mikrowellen Radar befaßte (Bekker:350), und der 1944 eingerichtete »Wissenschaftliche Führungsstab der Kriegsmarine«, von Dönitz eingesetzt und unter Leitung Karl KUpfmüllers stehend (a.a.O. :37). Diese letzte Einrichtung, bei der ein Zivilist in einem Bereich deutscher Streitkräfte Entscheidungsbefugnisse erhielt, sieht er als ein – zu spät kommendes – Novum, als eine »Revolution in der deutschen Militärtradition« an.
»Was auf der anderen Seite schon vor Beginn des Krieges selbstverständlich war, nämlich die Führung des wissenschaftlichen Krieges an Wissenschaftler und Soldaten gleichberechtigt zu Übertragen, blieb in Deutschland eine Revolution. Das Heer beteiligte sich nicht an dieser Umwälzung. Bis zum bitteren Ende hielt die geistige und organisatorische Zersplitterung an.« (Bley; 1949:34)
Es war zwar in Deutschland auch ein »Reichsforschungsrat« – formal ähnlich dem OSRD – geschaffen worden, der jedoch nie in die Lage versetzt wurde, eine ähnlich effektive Rolle zu spielen.
Neben der internen Struktur Hitlerdeutschlands, bei der organisatorische-und Machtzersplitterung eine wichtige Säule der Machterhaltung war, waren a) die von Beginn an offensive Ausrichtung der Strategie, b) die Annahme eines kurzen Krieges für a) die Richtung der F+E-Programme und b) die Intensität, mit der während des Krieges zunächst F+E weiter betrieben wurde, entscheidend.
Schließlich auch waren große, räumlich konzentrierte F+E-Einheiten bei näher rückender Front viel leichter störbar durch den Gegner als kleinere beweglichere Einheiten.
Als die Deutschen 1943 erst wieder mit voller Intensität in die Radartechnologie einstiegen, war es aus diesen Gründen schon zu spät.

[546] Baxter (1968:3-12)

reitet als die anderen drei Industriemächte im Krieg.[547] Wie man sich 1942 in der Leitung des National Defense Research Committee (NDRC) – der naturwissenschaftlich/ technischen Abteilung des OSRD bewußt war:[548]

> »The need for civilian analysts is a war-time military and naval need of a country which undermans and underfinances its armed services in time of peace. When war comes every officer of superior abil ity is needed for important operational or administrative posts, and the supply is inevitably less than the demand.« (W.F. Davidson; 1.9.1942:1)

Unter einem weit geringeren direkten militärischen Druck konnten die USA- nach Absprache mit Großbritannien – sich auf die mehr grundlegend und langfristig orientierten Projekte orientieren. Diese – im Frühjahr 1941 erfolgte Absprache[549] – trug dabei eher der Dynamik der zivilen US-Kriegsforschung der Hochschulen und großen Industrielabors Rechnung, als daß sie einem direkten Auftrag entsprochen hätte. So grundlegende Studien wie die Norbert Wiener's waren zur Zeit der Absprache bereits lange im Gang[550], mit anderen Worten Grundlagenorientierung und Rolle ziviler Forschung in der Kriegsforschung der USA waren zwei Seiten derselben Münze.

Das OSRD unterstand direkt dem Präsidenten der USA und wurde zunächst aus dessen Fonds, ab 1942 direkt vom Kongreß finanziert.[551] Es war zur Zusammenarbeit mit Army und Navy verpflichtet, nicht aber direkt von diesen kontrolliert.[552] Es konnte auf deren Antrag wie auch auf eigene Initiative aktiv werden.

Die technischen Probleme des Krieges verlangten nach der Entwicklung von Systemen, die einer bis dahin nicht gekannten Vielfalt der Effizienzbedingungen Rechnung tragen mußten. Sie reichten von allgemeinen Forderungen nach Schnelligkeit der Operation, Leichtigkeit der Bedienung, Schnelligkeit der Produzierbarkeit bis *zu* den konkretesten Anforderungen der Operabilität, Kompatibilität oder Widerstandsfähigkeit unter konkreten Anwendungssituationen.

Zuweilen verschoben sich die strategischen Bedingungen so schnell, daß Kontrakte der Streitkräfte zur Entwicklung spezifischer Geräte oder Systeme zum Zeitpunkt des Überganges in die Produktion bereits wieder überholt waren.[553] Wegen des kontinuierlichen Einbaus neuer Entwicklungsergebnisse in Radarsysteme konnte man darin nie permanent zur Großproduktion Übergehen. »Technical spcialization versus mass supply« (Signal Corps; 1957: 493) war die Alternative. Der Direktor des Signal Supply Service, General Colton, wird mit dem treffenden Spruch zitiert,

> »No production line can keep up with the scribbling of a pen« (Signal Corps; 1957:493)

Die Operation der Ergebnisse dieser Philosophie der permanenten Weiterentwicklung der Geräte und Systeme verlangten um so mehr technisches Verständnis bei den damit operierenden Soldaten. Dies war einer der Grunde für die ungeheuren Anstrengungen, die für die Nachrichtentechnische und elektronische Grundausbildung von Offizieren und Bedienungspersonal in den USA unternommen wur-

---

[547] Die unterschiedliche technische Vorbereitung auf den Krieg in den USA und Großbritannien wird z. B. bereits dadurch deutlich, daß das Zentrum der britischen Radar-Entwicklung, das Telecommunications Research Establishment (TRE) 1939 bereits 3000 Mitarbeiter hatte (Bley; 1949:8) – als in den USA die Bell-Laboratories erst zu 0,8% ihres Etats für die Streitkräfte arbeiteten und am MIT erst 30 Leute in verwandter Technologie arbeiteten.

[548] Der »Consultant to the Charimann, NDRC « in einem Report über Operationsforschung. NAA OR 4

[549] Baxter (1968:122)

[550] vergl. Abschnitt III.2.3

[551] Baxter (1968:125)

[552] Nach späterer Einschätzung des OSRD-Chefs V.Bush: »The essential element of OSRD was its independence: a great body of scientific and technical men working closely with the military and toward the end of the war in effective partnership, yet independent of their control « (Bush; 1968:vii). Man beachte dabei den diskreten Hinweis darauf, daß die Zusammenarbeit mit den Streitkräften offenbar bis zum Ende des Krieges ein besonderes Problem darstellte. Dies war in der Tat in der besonderen Form der OSRD (bzw. NDRC) -Organisation angelegt.

[553] Entsprechende Beispiele finden sich in Signal Corps (1957:87) und ebd.: 245. An letzterer Stelle wird der Leiter der Radar-Abteilung im Büro des »Chief Signal Officer«, Tom Rives mit einer entsprechenden Klage im April 1942 zitiert:

den. Ebenso erwies sich an genau diesem Punkt eine der Schwächen der deutschen Kriegstechnik. Durch die frühe Auflösung der zivilen Organisationen der Radioamateure (1933) in Deutschland gab es bei Beginn des Krieges kein geschlossenes Potential an technisch versiertem Personal mehr. Die Geräte mußten standardisiert, »idiotensicher« sein, was in einzelnen Fällen zusätzliche Konstruktionszeit bis zu einem Jahr verlangte, während das amerikanische oder britische Personal »eigene Kontrollmessungen, Störungsuntersuchungen und Reparaturen« (Bley; 1949:39) an den Systemen vornehmen konnte.

Wie in der Abstimmung von Betrieb, Produktion und Entwicklung war Zeit auch in der Forschung der entscheidende Faktor. Es ist daher nicht überraschend, wenn vom »dormant character of basic research« als einem der wichtigen Merkmale der Kriegsforschung gesprochen wurde (Piore; 1947:119). Während des Krieges erkannte man jedoch bereits die grundlegende Bedeutung einiger Entwicklungen und Theorien für die Zeit danach und beabsichtigte später auf diese zurückzukommen.

1.1.1 DIE ZIVILE KRIEGSFORSCHUNGSBEHÖRDE NDRC

Das entscheidende Vorbild bei der Gründung des National Defense Research Committee (NDRC) – gegründet,[554]

> »to correlate and support scientific research on the mechanisms and devices of warfare except those relating to problems of flight« (Roosevelt; 27.6.1940)

im Jahre 1940 – war das im ersten Weltkrieg (1915) gegründete National Advisory Committee on Aeronautics (NACA)[555]. Dies – auf das Gebiet der Koordinierung militärischer Flugzeug-Entwicklungen beschränkt – war bei Ausbruch des Zweiten Weltkrieges in den USA die einzige »interinstitutionelle Institution« für die Koordinierung militärischer Forschung. Auf Initiative des Präsidenten der National Academy of Sciences der USA, F.B. Jewett[556] (der gleichzeitig Präsident der Bell Telephone Laboratories war), wurde 1939 eine Entwicklung gestartet, in deren Verlauf am 15.6.1940 der Vorsitzende der NACA, Vannevar Bush, zum Vorsitzenden des neugegründeten National Defense Research Committee wurde.[557] Die direkten Gründungsmitglieder des NDRC waren die Präsidenten von Bell Laboratories (F.B. Jewett, auch Präsident der Nationalen Akademie der Wissenschaften der USA), Massachusetts Institute of Technology (K.T. Compton), Harvard University (J.B. Conant) und des California Institute of Technology (R.C. Tolman)[558] Zu Beginn hatte das NDRC die in der folgenden Abbildung dargestellte Organisationsstruktur in 5 Sparten (Divisions).

Die Divisions waren »Produkt« definiert bzw. besser problemdefiniert, was die *technischen Produkte* und ihre *Anwendungssituationen* einschloß. Sie waren durch die NDRC-Mitglieder geleitet, die die wichtigsten Forschungsinstitutionen der USA repräsentierten.

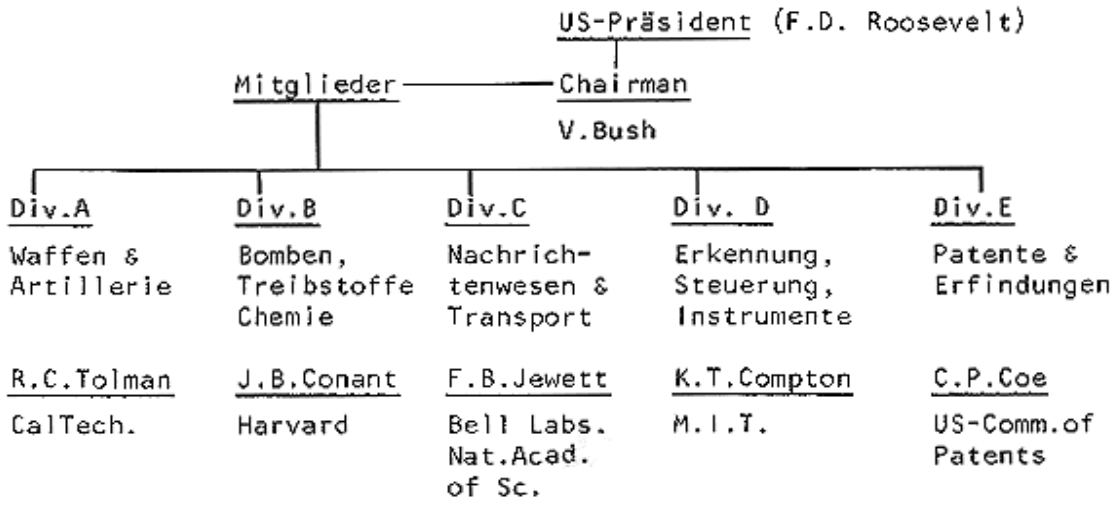
Jede Sparte war unterteilt in verschiedene Sektionen, die dann die tatsächlichen Arbeitsgruppen sein sollten.[559]

---

[554] In Baxter (1968:451)
[555] Baxter (1968:12 ff.)
[556] Nach der Aussage von Furer (1950:25). Baxter betont vor allem die Rolle Vannevar Bush's (MIT).
[557] Dieser war zudem Professor für Elektrotechnik am MIT, Präsident der Carnegie-Foundation und Entwickler des »Differential Analyzer« am MIT, der zur damaligen Zeit wohl wichtigsten großen Rechenmaschine (analog). Schließlich auch war er – ausgehend von der Betreuung der Arbeit Shannons an diesem –, während dessen Studienzeit am MIT so etwas wie dessen Betreuer für die günstigsten weiteren Forschungsaktivitäten. In allen diesen Funktionen spielt Vannevar Bush für diese Untersuchung eine äußerst wichtige Rolle.
[558] Die anderen Gründungsmitglieder waren: J.A. Furer, Koordinator für F+E des Navy Departments; R.C. Tolman, Dean der Graduate School des California Institute of Technology; R. Adams, Head des Chemiedepartments der Univ. of Illinois; C.P. Coe, U.S. Commissioner of Patents and Irwin Stewart, OSRD-Sekretär (Baxter; 1968:14 ff.)
[559] Baxter (1968:17)

Zwischen diesen Sektionen waren die großen Problembereiche aufgeteilt, innerhalb dieser wurden Kontrakte an Hochschul-, Industrie- und andere Forschungsinstitutionen vergeben.

Abbildung 1: Struktur der nationalen Kriegsforschungsbehörde der USA (NDRC) 1940/41 (Q.: Baxter; 1968)



Das NDRC konnte selbst initiativ werden, wie auch auf Anforderungen von Army und Navy hin Projekte starten.

Ein prinzipielles Problem des NDRC war bei seiner speziellen Konstruktion die Zusammenarbeit von F&E neuer Geräte und Systeme einerseits und deren Betrieb und Nutzung durch die Streitkräfte andererseits wie auch schließlich deren Abstimmung mit möglicherweise neuen Taktiken oder gar Strategien.

Besonders deutlich wurde dieses Problem, als es darum ging, die in der britischen Kriegsforschung entwickelte Methode der Operationsforschung (Operations Research) auf das völlig anders geartete amerikanische Forschungsraster zu übertragen.

Seit 1942 wurde versucht, dieses Problem auf mehreren Ebenen zu lösen: mit der Schaffung des Joint New Waapons Committee (JNW), dessen Vorsitzender Vannevar Bush wurde, über das Vorstellungen von Forschung und Entwicklung direkt in die strategischen Überlegungen des Generalstabes einfließen sollten; mit der Schaffung der Consulting Gruppen für die gesamte Kriegsforschung, für Army und Navy, des Applied Mathematics Panel (AMP)[560] und des Applied Psychology Panel in den Jahren 1942 bzw. 1943.

Der erste direkte Versuch, Probleme des Betriebes der Systeme direkt in deren Entwicklung einfließen zu lassen, war das im August 1942 unter K.T. Compton gebildete Radar-Komitee des JNW.[561] Es koordinierte sämtliche an Radar-Nutzung,-Forschung,-Entwicklung und -Produktion beteiligten Stellen und hatte sich nach Aussage des JNW-Vorsitzenden Vannevar Bush Ende 1942 bereits als großer Erfolg erwiesen.[562] Was sich in verschiedenen Industrieunternehmen, wie in der Nachrichtentechnik in der AT&T, als eine zweckmäßige Verbindung für F&E erwiesen hatte, die direkte Koordinierung von

[560] Wie sich Thornton Fry, stellvertretender Chef des Applied Mathematics Panel später erinnerte, spielte bei dessen Gründung der Trend zur Operationsforschung in den USA eine Rolle (Fry; 1977:2/985). Siehe dazu auch Baxter (1968:396 ff.)
[561] Baxter (1969:30)
[562] Vannevar Bush an F.B. Jewett; 28.12.1942; NAA 17

Produktion, Betrieb, Forschung und Entwicklung, ließ sich von dort nicht einfach in die Kriegsforschung Übertragen, da deren Stärke – in anderer Hinsicht – gerade in der Unabhängigkeit von den Streitkräften bestand, der »Betriebs«seite der Kriegstechnik. Über diesen Punkt fand ein Gedankenaustausch zwischen BTL-Präsident F.B. Jewett und OSRD-Chef Bush 1942 statt, in dessen Verlauf Jewett über seine entsprechenden Erfahrungen in F&E des Bell Systems berichtete.[563]

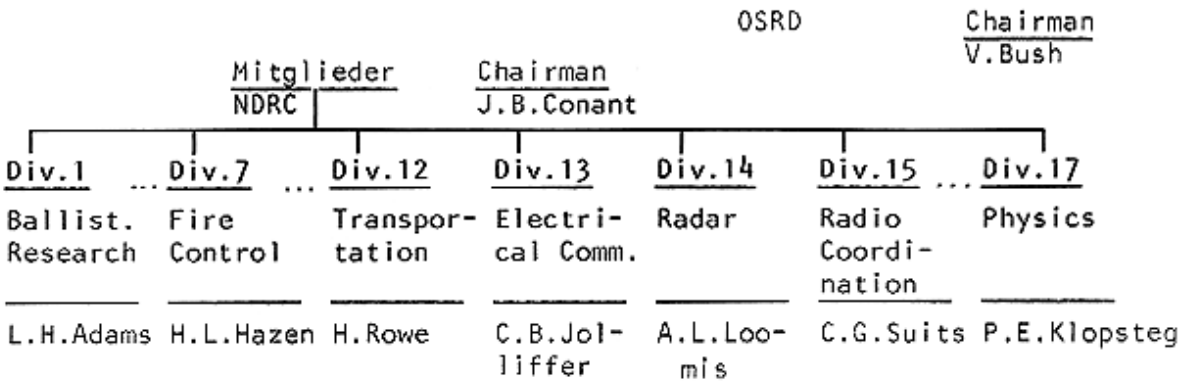
Mit dem 0ffice of Scientific Research and Development (OSRD) wurde 1941 eine Behörde gegründet, die das NDRC, wie auch ein medizinisches Forschungskomitee einschloß. Vorsitzender des 0SRD wurde Vannevar Bush, Chef des NDRC James B. Conant.

Unter dem Druck der Vielzahl der Aufgaben und ihres rapiden Wandels mußte im Herbst 1942 die ursprüngliche Organisation des NDRC aufgegeben werden. Die mit nur 4 Sparten beabsichtigte stabile Koordinierung auf höchster Ebene ließ sich nicht aufrechterhalten. Es entstanden 18 Sparten (Divisions) und eine gesonderte Gruppe für mathematische Beratung und Forschung, der »Applied Mathematics Panel«.[564]

Dieses waren die einzigen grundlegenden Wandlungen der US-Kriegsforschung, die so mit dem OSRD eine trotz des ständigen Wandels der technischen Erfordernisse außerordentlich stabile Form der Koordination auf höchster Ebene gefunden hatte.

Die für diese Untersuchung wichtigsten Bereiche des neugegliederten NDRC zeigt Abbildung 2.

Abbildung 2: NDRC-Struktur ab Ende 1942 (Q.: NAA 2)



1942 hatte das OSRD insgesamt etwa 3.500 Ingenieure, Wissenschaftler und Techniker in rund 600 Kontrakten in den ganzen USA koordiniert.[565] Der Etat des OSRD, der zum allergrößten Teil der des NDRC-Teils war, stieg von etwa 40 Mio. in 1941/42 auf maximal 145 Mio. $ in 1943/44, um 1945/46 wieder auf 14 Mio. $ abgesunken zu sein.[566] Insgesamt waren es 450 Mio. $, die dem OSRD während des Krieges zur Verfügung standen, davon machte allein die Radar-Abteilung (Div.14) mit insgesamt 141 Mio. $ fast ein Drittel des gesamten Betrages aus – für die Entwicklung von insgesamt 150 ver-

[563] Das Problem der Koordinierung von F+E für die Produktion von Geräten einerseits und deren Nutzung andererseits bezeichnete BTL-Präsident F.B. Jewett als »a thing which crops up ineverysector of NDRC-work, ... it crops up everywhere in industrial research« (Jewett an Bush; 22.12.1942; 1 ff – in NAA 17) und verglich die Situation mit der zur Zeit seiner Übernahme der BTL-Leitung. Das heißt, die Ähnlichkeit der Probleme der Koordinierung von Forschung, Entwicklung und Operation in Kriegstechnik und Industrie - speziell mit Hinblick auf die Lösung des Problems bei der AT&T -war gut bekannt.

[564] Baxter (19.68:124 ff.)

[565] Fortune (1942:312 f.)

[566] Baxter (1968:125). Diese Angaben beziehen sich auf die Fiskaljahre, während weiter oben sich die Angaben nach Furer (1950) auf natürliche Jahre bezogen.

schiedenen Radarsystemen.[567] Man vergleiche allein diese Summe mit den höchstens 5 Millionen $, die 1937/38 von den 5 wichtigsten Technischen Hochschulen der USA zusammen für elektrotechnische F+E ausgegeben worden war![568]

Bis 1945 wurde unter OSRD-Kontrakten entwickeltes Gerät im (Produktions)Wert von 5 Mrd. $ an die Streitkräfte geliefert.[569] Die vier größten Auftragnehmer des OSRD unter den Hochschulen waren M.I.T. (117 Mio. $), CalTech (84 Mio $), Harvard (31 Mio $ und Columbia University (29 Mio. $), die 3 wichtigsten industriellen Auftragnehmer Western Electric (17 Mio. $), Research Construction Company (14 Mio. $) und General Electric mit 8 Mio.$.[570]Wobei die hohen Beträge für die großen Hochschulen vor allem dem Aufbau der dort lokalisierten Großforschungszentren, wie dem Radiation Laboratory des M.I.T. (Div.14-Radar), dem Radio Research Laboratory der Harvard University (Div.15-Radio Coordination)[571] oder deren Psycho-Acoustic Laboratory (Div. 17-Physics)[572] dienten. Dabei war noch der zweitgrößte industrielle Kontraktor, die Research Construction Company eine eigens geschaffene Produktionseinheit des Radiation Laboratory des MIT.[573] Schwerpunkte, die durch unterschiedliche NDRC-Abteilungen in Gestalt von Forschungslaboratorien an den Hochschulen etabliert wurden, erwiesen sich als erstaunlich stabil. Noch 1950 lassen sich die Schwerpunkte Div.14 - MIT und Div.17 – Harvard auf einem Kongreß deutlich erkennen, der die Kommunikation von Sprache und Sprechen zum Gegenstand hatte – als zwei Gruppen, die sich auf unterschiedliche Quellen, Methoden, Theorien bezogen und unterschiedliche Phänomenbereiche betrachteten. Obwohl man sich auf einem Kongreß bemühte, die Forschungen über Sprache und Sprechen zu integrieren, gab es praktisch zwischen diesen Gruppen keine gemeinsame Grundlage.[574]

Zwei zum Teil gegenläufige Bewegungen zeichneten sich in der nachrichten-technischen Forschung des Krieges ab, in Richtung einer Zentralisation und in Richtung einer Dezentralisation der Forschung.

Dezentralisation trat auf, weil die neuartigen Problemzusammenhänge, vor die man gestellt war, nicht mit den Institutionsgrenzen kommerzieller oder universitärer Laboratorien zusammenfielen. So wurden an große Forschungsinstitutionen jeweils viele Kontrakte in verschiedenen Problemzusammenhängen vergeben (d. h. von verschiedenen OSRD-Abteilungen), und es erforderte ein solcher Problemzusarnenhang Kontrakte mit verschiedenen Institutionen. Zunächst war die vollständige räumliche Dezentralisierung der Forschung ein Prinzip des OSRD gewesen, um es den verschiedenen Wissenschaftlergruppen zu erlauben, »to work in their own laboratories« (Baxter; 1968:20) – zentralisiert in jedem Problembereich nur in der *Koordination* der Forschung, nicht der Forschung selbst. Dann jedoch zeigte es sich, daß es immer schwieriger wurde,

> »to bring the workers together for consultation with sufficient frequency or to visit them often enough to keep them posted on advances in the same or adjacent fields« (Baxter; 1968:20).

---

[567] Baxter (1968:142)
[568] siehe Teil IV
[569] Baxter (1968:124) 21 ebenda (1968:456) 22 ebenda: 160 23 ebenda: 396 24 ebenda: 142 25 Stratton (1966:2)
[570] ebenda (1968:456)
[571] ebenda: 160
[572] ebenda: 396
[573] ebenda: 142
[574] nach Proc.of the Speech Communic.Conference at MIT in J.A.S.A.22;1950, 6:689 ff.:
24 Arbeiten von 24 Autoren wurden vorgetragen, davon 6 vom MIT und 5 von
Harvard als den am meisten vertretenen Einzelinstitutionen.
Auf dem Kongreß existierten zwei Blöcke von Autoren, innerhalb jedes Blockes bestanden Kopplungen der Zitate (d. h. zum Beispiel A zitiert X und B zitiert X), zwischen diesen nicht.
4 der 6 MIT-Autoren und 3 der 5 Harvard-Autoren gehörten jeweils zu einem der beiden Blöcke. Deren inhaltliche Schwerpunkte waren: Sprache/ NachrichtenÜbertragung (MIT) und Sprechen/Akustik (Harvard), eben die Schwerpunkte der Herkunftsinstitute:
Research Laboratory of Electronics (MIT) bzw. Psycho-Acoustic Laboratory. Erstes seinerzeit aus dem Radiation Laboratory (Div.14) hervorgegangen, letzteres von der Division 17 (Physik) des NDRC gegründet.

Zu enge und starke sachliche Zusammenhänge konnten räumlich auf die Dauer nicht auseinandergezogen bleiben. Die organisatorischen Kanäle des NDRC über die – via Divisions-Sektionsleitung – die Kontakte der einzelnen Gruppen untereinander abgewickelt wurden, erwiesen sich in diesen Fällen als nicht ausreichend und die tatsächliche Operation neuer *zentraler Forschungsinstitutionen* erwies sich als notwendig. Deren größtes, das aufwendigste einzelne Unterfangen des OSRD war das Radiation Laboratory des MIT, das von der Radar-Division (14) des NDRC betrieben wurde. Lediglich das Atombombenprojekt der US-Kriegsforschung (»Manhattan District«) stellte ein größeres Unternehmen dar.[575]

Die Forschung anderer Divisions bzw. deren einzelner Sektionen blieb räumlich dezentral an den verschiedensten Institutionen lokalisiert (wie z. B. die mathematische Forschung).

Begonnen hatte die Kontraktvergabe 1940 mit dem Versand von fast 800 Briefen F.B. Jewetts und J.B. Conants an Universitäten, Colleges und akademische Institutionen. Darin war nach Projektvorschlägen für die Kriegsforschung gefragt worden, die von den betreffenden Institutionen in eigener Regie durchgeführt werden konnten – sowie nach der möglichen Anwendung bereits laufender Forschungsprojekte für die Kriegsforschung.[576] Der daraus entstandene »Report on Research Facilities of Certain Educational and Scientific Institutions« diente als Grundlage für einen Großteil der Kontraktzuordnungen und für den Beginn der NDRC-Operationen. Welchen Anteil an der Projektleitung, an Personal, Gerät, Raum die jeweiligen Kontraktpartner stellten, war dabei durchaus unterschiedlich.

Auf diese Weise war ein Gewebe von NDRC-Kontrakten entstanden, das sich über eine Vielzahl kleiner Institute erstreckte, Teile großer Labors in jeweils unterschiedlichen Kontrakten unterschiedlicher Divisionssektionen erfaßte und auch eigene zentrale Großforschungszentren betrieb.

Während des Krieges war die Kommunikation der einzelnen Kontraktgruppen innerhalb einer Divisions-Sektion außerordentlich intensiv – d. h. zwischen den verschiedenen Gruppen, die an einem Problemzusammenhang (wie z. B. Servotechnik) arbeiteten.

Dieser Informationsfluß innerhalb solcher Kontraktnetze Über die Grenzen der bestehenden Forschungsinstitutionen hinweg war für die beteiligte Industrie keineswegs einfach zu erreichen.

Entscheidend dafür war die während des Krieges erfolgte Trennung der *F+E-Kontrakte* von den *Produktionskontrakten.*

Dies bedeutete die Möglichkeit *konkurrierender* Angebote in den Produktionskontrakten, bei *gemeinsamer* Nutzung der geeignetsten Ergebnisse verschiedener F+E-Kontrakte.

Voraussetzung dafür war die Freigabe gesonderter F+E-Gelder durch den amerikanischen Kongress[577], die sich dann während des Krieges in den OSRD-Kontrakten niederschlugen.

Im September 1944 wurde dieser Punkt auf einer Konferenz zwischen Vertreter der Army, der Navy und des OSRD ausführlich angesprochen. Dabei wurde der hinderliche Einfluß betont, den vor dem Krieg die Verbindung konkurrierender Produktionskontrakte mit Forschungskontrakten auf die Forschung ausgeübt hatten.[578] Erst deren Trennung erlaubte für industrielle Kontraktoren der NDRC-Aufträge interinstitutionelle Kommunikation in der Forschung.

---

[575] Stratton (1966:2)
[576] Baxter (1968:17 f.)
[577] Capt.Entwistle (Bureau of Ordnance-US-Navy) in »Conference held in Bureau of Ordnance«; 29.9.1944:21 NAA, 227, OSRD, Divis.7, Div.7(4)
[578] Es lohnt sich, entsprechende Passagen zu zitieren: Im Zusammenhang mit Plänen, die Kriegsforschungsorganisation des 0SRD, mit ihrem Kontrakt-wesen und ihrem stimulierenden Effekt auf die Entwicklung von Wissenschaft und Technik in irgendeiner anderen Form fortzusetzen nach dem Krieg sagte Entwistle (Navy):

Andererseits bestand zwischen Gruppen, die zwar in einer Institution, aber an Kontrakten verschiedener Auftraggeber arbeiteten, im Krieg im allgemeinen keine Kommunikation. Die traditionelle Konzentration des Ingenieurs auf die Lösung begrenzter Probleme, wie auch die bekannten Eigenschaften einer nach Projekten statt nach Fachgebieten strukturierten Forschung[579] unterstützten diese Isolation. Vor allem dafür verantwortlich aber war die gegenseitige Abschottung verschiedener Problembereiche durch die notwendige Geheimhaltung während des Krieges.

Gerade bei der dezentralen Struktur des NDRC war es besonders wichtig, die Geheimhaltung zwischen verschiedenen Gruppen auch innerhalb desselben Großlabors einzuhalten. Ohne die

> »decentralization of information and operations would have been as hazardous as an open fire flame in a powder magazine« (Baxter; 1968:23),

so der offizielle OSRD-Historiker Baxter.

Viel stärker noch waren die mit der Kryptografie befaßten Gruppen voneinander und von der restlichen Kriegsforschung isoliert.[580] Die Isolation der Forscher war dort derart groß, daß sich darüber noch heute wenig systematisches Material erhalten läßt. Das Gebiet hatte sich derart in separate kleinste Einheiten atomisiert – die nur auf allerhöchster Ebene koordiniert waren -, daß es sich kaum in Begriffen der Forschungsorganisation oder Wissenschaftssoziologie beschreiben läßt.

Mit der Geheimhaltung mußte sich der Wissenschaftler auf etwas einlassen, was ihm normalerweise diametral wider die Natur ging; anders etwa als dem Militär.[581]

Besonders für Wissenschaftler, deren Stärke die breite übergreifende Sicht war, »strategische Denker« nach Conant (1947) brachten derartige Anforderungen große Konflikte mit sich. So z. B. für Norbert Wiener:[582]

> »Keeping still about confidential work of this sort is particular difficult and uncongenial for a person like Wiener we realize ... it is his natural tendency to want to talk to everybody.« (Weaver an Compton; 16.5. 1941:2)

und ebenso auch für Warren Weaver, der daher aus der in dieser Hinsicht besonders rigiden Kryptografie nach kurzem Versuch wieder ausstieg. Es ist mit Hinblick auf die Unterschiede von »strategischen« und »taktischen« Denkern interessant, die entsprechende Passage aus Weavers Erinnerung zu zitieren. Immerhin war er es, der mit seiner allgemeinen Einführung in Shannons »Mathematical Theory of Communication« (1949) – die von dessen Kryptografiearbeit stark beeinflußt worden war – viel

---

»This whole plan here if carried out involves something that has never been undertaken. In other words, you are taking all of the competitives and putting them together to get the best answer. Previous to this time, in normal peace times, we had to be fairly careful that we were not disclosing to, say, G(eneral) E(lectric) what Ford was thinking about. We felt morally obligated and likewise. Now this picture is open to everyone. They know what we are striving for. Each one knows what the other man is doing.«
Wichtig dabei sei nur, daß man es nicht nötig habe,
»to go into competitive bidding for development contracts, but only for production contracts. ... We tried it in radio, and that is, have one or two companies – ..., give contracts to two of them, one of them comes out with something that is better than the other and then you turn this model over to any number of competitive bidders and say we want copies of this thing. Then they know exactly what they have to do. You can reserve the competition for production without necessarily tying yourself up with research; if you will pay for the research, pay somebody on a proprietary contract basis for research.« (Tucker:20/21)
- Darauf weiter: »What it amounted to before the war came along, we had no possibilities of getting any research by a pure research contract. The research came from competitive bidding (Entwistle) – Hazen: ›The research was lumped in with the production clause‹ – Tucker: ›That's right.‹« (NAA 51:21)

[579] vgl. z.B. Kern, Schröder (1977:320 ff.)

[580] Darüber berichtet z.B. auch Bode (1977:2/220)

[581] Dies betonte Admiral Furer (1950:21), Koordinator des Navy-Departments für F+E

[582] in NAA w 11

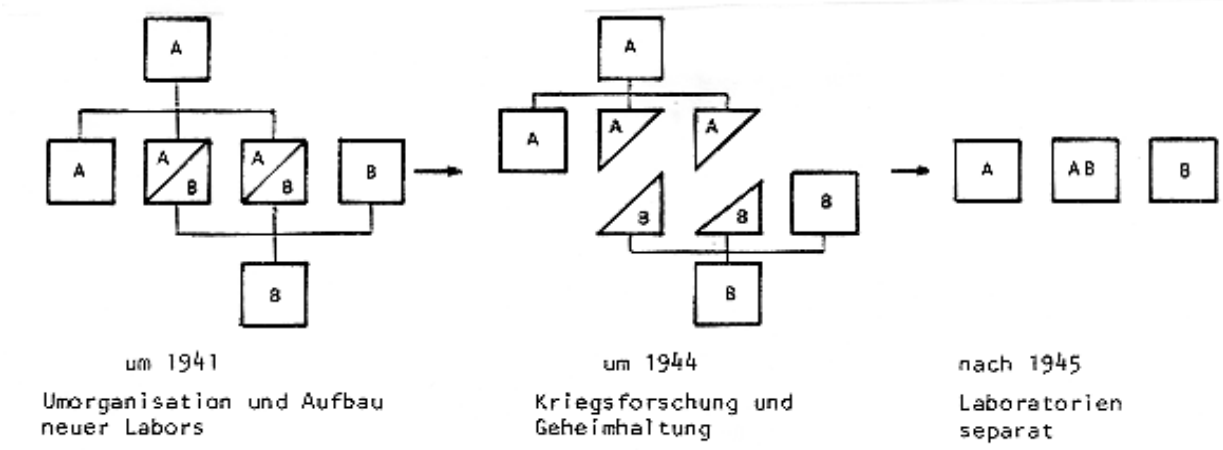
zu deren breiter Wirkung beigetragen hatte. So berichtete Weaver 1977 über seine Berührung mit der Kryptografie während des Krieges:

> »This was under very strict control. I finally got out, because I didn't feel it was being done effectively. They never would tell us all of a problem. They only would tell us a piece of a problem. I finally got very angered about this. I said: ›You either trust us or you don't trust us. And if you trust us you got to tell us all of the problem. Then we can think about it in a really logical and complete way. But we cannot approach problems of this magnitude and complexity just looking through a little hole to the problem. That is impossible.‹ And I said ›You either get to change this or I'll get out‹. And they said, ›Well , sorry, we won't change it, you have to get out‹. So I resigned from that kind of work.
>
> I wasn't in it very long and I didn't like it, as a matter of fact.« (Weaver; 1977:1/500)

Die Geheimhaltung trennte in dieser Weise die »Netzteile« der NDRC-Forschungskontraktnetze voneinander – auch innerhalb von Institutionen, in denen an verschiedenen Projekten gearbeitet wurde.

Abbildung 3 zeigt das Schema des Aufbaus solcher Netze, in denen während des Krieges sich die Forschungszusammenhänge realisierten. Methoden, theoretische Modelle, Phänomenbereiche der Untersuchung waren dank der Kommunikation innerhalb eines derartigen Projekt- und Kontraktnetzes im Verlauf der Kriegsforschung einigermaßen homogenisiert, nicht aber innerhalb einer Institution, die an verschiedenen Projekten beteiligt war.

ABBILDUNG 3: Schema der Organisation der Kriegsforschung in den USA durch NDRC Kontrakte



Nach dem Krieg lösten sich die Projektzusammenhänge auf und die dadurch geschaffenen Traditionen in Methodennutzung und untersuchtem Bereich verblieben zu einem beträchtlichen Grad in den verschiedensten Institutionen, deren interne Kommunikation nun wieder zu dominieren begann.

Die Einrichtung des National Defense Research Committee (NDRC) stellte die externe Aufprägung einer projektbezogenen F+E-Struktur auf die gesamten nationalen F+E-Kapazitäten der USA dar.

Sie erfaßte vollständig die großen Hochschulen, Dutzende von kleineren Colleges und andere akademische Forschungsinstitutionen und ersetzte in der Forschung für die Zeit des Krieges die bislang dort dominierenden disziplinbestimmten Strukturen. In den Industrielabors ersetzte sie durch Entwicklung

kommerzieller Techniken in bestimmten Segmenten des Marktes bestimmte Forschungs- und Entwicklungsstrukturen.

Die allgemein mit einer Projektstruktur von F+E verbundenen Eigenschaften – wie erhöhte Flexibilität, erhöhte Kreativität und Interdisziplinarität – und wie andererseits auch Isolation der Wissenschaftler einer Disziplin voneinander und die »ungünstigen Voraussetzungen für die Weiterentwicklung der beruflichen Kenntnisse und Fähigkeiten« (Kern, Schröder; 1977:325) waren – durch verschiedene Faktoren verstärkt – gerade die charakteristischen Ergebnisse der Kriegsforschung.

Zu einem großen Teil geht das, was später in diversen Beschreibungen der Entwicklung neuer interdisziplinärer und Systemtheorien nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges verwundert als die »air« (Bertalanffy; 1969:15) oder der »Zeitgeist« (Rosenblith, Wiesner; 1966:37 f.) beschreiben wird, die all dies in jener Zeit beeinflußt hätten, auf den Aufbau, die Funktion und die Auflösung dieser Kriegsforschungsorganisation zurück.

1.2 MATHEMATISCHE FORSCHUNG UND AUSBILDUNG

> »The time is gone when an engineer jokingly remarked that the place of an integral sign is on the violin.« (Malti; 1939:39)

VORBEMERKUNG

In den beiden folgenden Abschnitten soll zunächst auf Kriegstrends eingegangen werden, die auf die späteren potentiellen Rezipientengruppen für Informationstheorie und (z.T.) andere interdisziplinäre Bewegungen von entscheidendem Einfluß waren:

- die *Verbreitung angewandter Mathematik*, statistischer und wahrscheinlichkeitstheoretischer Methoden und Modelle in Systemplanung, Operationsanalyse, mechanischen und elektrischen numerischen Berechnungen;

- die *Verbreitung nachrichtentechnischer Methoden und Modelle*, das Anwachsen der Profession der Funk- und nachrichtentechnischen Ingenieure.

Diese Trends, die einhergingen mit dem Nachlassen von Forschung und Ausbildung in den traditionellen Wissenschaften während des Krieges und die z.T. miteinander zusammenhingen, hatten ihre Ursachen in technischen Entwicklungen (wie dem Radar), deren verbreiteter Nutzung und ihrer quantitativen Analyse (Ausbildung, angewandte Mathematik) und in neuen Formen der Forschungsorganisation.

Als Begründung für die nachfolgende Untersuchung dieser Bewegungen während des Krieges mag die Übersicht in Tabelle 2 genügen. Sie enthält die von Claude Shannon und anderen Mathematikern der Bell Laboratories zwischen 1947 und 1949 gehaltenen Vorträge zum Thema »Informationstheorie« und verwandter Bereiche. Aus dieser Aufstellung, die ohne weitere »Filterung« aus den Akten der Bell Laboratories gewonnen wurde, läßt sich die fachliche Zusammensetzung dieser Initial-Rezipientengruppen klar ablesen:

Von den 19 Vorträgen, die in den drei Jahren 1947, 1948, 1949 von Claude Shannon (16), Hendrik Bode (2) und Brockway MacMillan (1) gehalten wurden, wurde 1 vor Physikern, 4 vor angewandten Mathematikern, 4 vor Statistikern und 10 vor Elektronik/Nachrichtentechnikern gehalten.[583]

TABELLE 2: Vorträge von Mathematikern der Bell Telephone Laboratories zum Thema »Kommunikationstheorie – Kybernetik«, 1947-1949 (Q.: BAA, C.20878; Wiener papers, MIT)

Datum	Autor	Thema	Institution
21.3.47	Claude Shannon	The Transmission of Information	Colloqu.on Applied Math. Brown University
April 47	Claude Shannon	The Transmission of Information	Mathematics Colloqu. Harvard U.
24.4.47	Claude Shannon	Describing Noise by a Noise Spectrum	Inst.of Math.Statistic, Columbia Univ.
12.11.47	Claude Shannon	Noise and Information Transmission	Institute of Radio Engineers (IRE)
9.1.48	Claude Shannon	Transmission of Intelligence	BTL-Holundel
24.2.48	Claude Shannon	Boolean Algebra and its Application to Switching Circuits	Basic Science Section, Am.Inst.of Electr. Engineers (AIEE)
22.3.48	Claude Shannon	The ultimate limitations on the transfer of Information	IRE
31.7.48	Claude Shannon	The Theory of the Transmission of Information	2. Symp.on Applied Math. Massachus.Inst.of Tech.
11.10.48	Claude Shannon	Communication Theory	Committee on Electronic Res.& Dev.Board
9.11.48	Claude Shannon	Programming a Computer for Playing Chess	IRE, New York
17.1.49	Claude Shannon	Recent Advances in the Theory of Communication	IRE
16.2.49	Claude Shannon	Information and Lattice Theory	Mathematics Club, Princeton University
28.2.49	Hendrik Bode	Cybernetics	American Statistical Association
28.3.49	Brockway McMillan	Communication Theory	AIEE und IRE
11.4.49	Claude Shannon	Communication Theory	AIEE und IRE
13.5.49	Claude Shannon	Communication Theory	IRE, Chicago
2.12.49	Hendrik Bode	A Popular Approach to Cybernetics	American Society for Quality Control
5.12.49	Claude Shannon	Information Theory	Physics Colloquium, Cornell University
28.12.49	Claude Shannon	Information Theory	Am.Statistical Assoc.

Insgesamt: Physik: 1; Angewandte Math.u.Stat.:8; Elektron.Nachrichtent.:10

Diese Zusammensetzung ist hinreichend typisch für die Gebiete, in denen Informations- und Nachrichtentheorie auf die meiste Resonanz traf, nämlich Nachrichtentechnik/Elektronik und angewandte Mathematik/Statistik. Bei dieser Aufstellung sind in keiner Weise die Aktivitäten der anderen interdisziplinären Bewegungen der Nachkriegszeit berücksichtigt worden.

Theorien, die sich z. B. nicht Methoden bedienten oder Probleme untersuchten, die den Interessen dieser beiden großen Rezipientengruppen Rechnung trugen, hatten von vornherein geringere Chancen der Verbreitung. Dies wird aber noch im einzelnen näher untersucht werden, damit nicht der Eindruck entsteht, inhaltliche Faktoren hätten dabei keinerlei Rolle gespielt. Immerhin war das Interesse dieser Gruppen rational begründet, d. h. zum Beispiel an den weiteren Entwicklungen der Technik (Digitalisierung, Rauschprobleme) orientiert.

[583] Diese Aufstellung ist mit einiger Sicherheit nicht vollständig, es war allerdings die vollständigste, die erstellbar war. Die meisten Vorträge wurden auf Treffen gehalten, bei denen auch andere Autoren der neuen Nachkriegs-Theorien vortrugen.

1.2.1 DER BEREICH DER FEUERLEITUNG

Die Konstruktion des NDRC ermöglichte weitgehend die Integration neuer technischer – wie auch theoretischer – Methoden in traditionelle Problembereiche, und zwar – speziell die erste Integration nachrichtentechnischer Methoden in den bis dato mechanisch dominierten Problembereich der Feuerleitung.

Der Komplex der Forschung und Entwicklung von Techniken und Systemen der Feuerleitung (besonders in der Flugabwehr) hatte großen Einfluß auf eine Reihe anderer Bereiche, besonders auf Operationsforschung und Angewandte Mathematik während des Krieges, wie auch eine Reihe der interdisziplinären Theorien nach dem Krieg. Mit Hinblick darauf wird die Organisation der NDRC-Forschung in »Fire Control« und werden einige ihrer Ergebnisse hier als ein Beispiel der interdisziplinären Wirkung der interinstitutionellen, projektorientierten NDRC-Struktur diskutiert.

Am 12.9.1940 nahm unter der Leitung von Warren Weaver die Sektion D-2 des National Defense Research Council (NDRC), »Fire Control« ihre Arbeit auf. Initialproblem dieser Gruppe war die teure und ineffiziente Leistung der Boden-Luft-Flugabwehrsysteme und Feuerleitung in der »Battle of Britain«.[584]

Die Sektion D-2 war Teil der Division D des NDRC, deren andere Teile »Detection« (Radar-) , »Instruments« und »Heat Radiation« waren,[585] sie war also, bis zur Umorganisation des NDRC, Ende 1942, mit der Radartechnik direkt organisatorisch verbunden. In keiner anderen Gruppe des NDRC, mit Ausnahme des später aus Teilen dieser Abteilung hervorgehenden »Applied Mathematics Panel« waren so viele der später in der einen oder anderen Weise für die Entwicklung der hier untersuchten Theorien nach dem Krieg entscheidenden Leute konzentriert: Warren Weaver[586] (Vorsitzender), Thornton Fry[587] (Stellvertreter), Norbert Wiener und Claude Shannon (Consultants), John R. Ragazzini[588] (Technical Aide) und George Stibitz[589] (dito).

Ende 1942 erfolgte eine Umbildung, H.L. Hazen wurde Chef der »Feuerleitung«, Division 7[590] , Warren Weaver Chef von deren Abteilung 7.5 »Fire Control Analysis« und des Applied Mathematics Panel. Die Abteilung (D-2) betraf ein Spezialgebiet, das vor dem Ausbruch des Krieges unter dem Dach der Geheimhaltung bereits lange innerhalb der Streitkräfte entwickelt worden war.

---

[584] S.H. Caldwell (1946:4), NAA FL 3.
Weaver kannte Bush von seiner Tätigkeit als Chef der Abteilung Mathematik und Naturwissenschaften der Rockefeller Foundation durch deren Förderung von Bush's Differential Analyzer am MIT. (Weaver; 1977:1/58

[585] NDRC-Organization chart; 15.2.1942, BAA, NDRC-Cab., Official Investigators for NDRC, 11F.

[586] Verfasser des allgemeinen Teils der Buchausgabe von Shannons »Mathematical Theory of Communication« (1949), der von beträchtlichem Einfluß war; wichtiger Wissenschaftsmanager.

[587] Leiter der Abteilung für Mathematische Forschung der BTL, Chef Shannons in dieser Funktion.

[588] Einer der Mitbegründer der »Professional Group on Information Tehory« des Institute of Radio Engineers (IRE) zu Beginn der 50'er Jahre.

[589] Kollege Shannons in der Mathematischen Forschung der BTL, mit dem dieser in engem Kontakt, vor allem im Zusammenhang mit automatischen Computern und Schaltungslogik stand. Baute einen der ersten digitalen (Relais) Computer.

[590] Die sich wie folgt zusammensetzte (NAA 68); 1591.1944:
7.1 - »Surface Systems«
7.2 - »Air-borne Systems«
7.3- »Servomechanisms«
7.4 - »Optical Range Finders«
7.5 - »Fire Control Analysis« (Chef:Weaver)
7.6 - »Sea-borne Fire Control with Radar«

Im Juni 1943 arbeiteten 189 Wissenschaftler und Ingenieure unter der Division 7 des NDRC[591], bis zum Juli 1944 waren insgesamt 7 Millionen Dollar für F+E-Kontrakte aufgewendet worden, davon 2,3 Millionen in 1943/44.[592]

Der wichtigsten technischen Konsequenz der Entwicklung von Feuerleitungs-(FL)Systemen während des Krieges, nämlich Systeme insgesamt zu entwickeln und konstruieren, folgte dabei auf der Ebene der Organisation von Forschung, Entwicklung und Konstruktion direkt die Forderung nach Primärkontrakten für die Systemplanung und -koordination.[593] So ergab sich ein institutionell weit verzweigtes Kontraktnetz, mit unterschiedlichen Aufgabenschwerpunkten, je nach Möglichkeiten und bisheriger Erfahrung der Institutionen. Die Kontraktnetze mußten sich dabei nach den Erfordernissen der zu entwickelnden technischen Systeme bzw. ihrer Nutzung verteilen.

Insgesamt gingen 26 Kontrakte dieser Sparte an Hochschulen[594], 53 an Industrieunternehmen. Die Institutionen mit den meisten Kontrakten waren unter den Hochschulen das M.I.T. (Cambridge) mit 5 und insgesamt die Western Electric Company (mit anderen Worten, die Bell Laboratories in Forschung und Entwicklung) mit 11 Kontrakten. Insgesamt waren 18 verschiedene Hochschulen und 25 verschiedene Industrieunternehmen am Kontraktnetz der Sparte 7 des NDRC beteiligt, jeweils die meisten von ihnen mit nur einem Kontrakt (12 bzw. 15).

Die Bereiche, auf die sich inhaltlich die Kontrakte dieser Sparte konzentrierten, waren die Entwicklung von

Kommandogerät (24%), Ortungsgerät (meist optisch) (15%) und Servomechanismen und grundlegende theoretische Studien je 14%.

---

[591] 22.6.1943, NAA FL 15
[592] NAA 68; 15.1.1944:11
[593] So äußerte sich der Leiter der Feuerleitungs-Sparte des NDRC, Hazen (1944:17) in NAA 51
[594] einschließlich zweier Kontrakte an das Franklin-Institut
Q.: Aufstellung der Kontrakte D-2/Div.7 des NDRC in NAA 2. Die Verteilung der inhaltlichen Bereiche des Komplexes der Feuerleitung auf die verschiedenen Kontraktnehmer war:
davon

Problembereich	Kontrakte	MIT	WE-Co(BTL)	(sonstige)	Uni s. Industr.
Kommandogeräte	19	1	3	4*	11
Ortungsgeräte	12	-	1	2	9
Servomechanismen	11	2	-	1	8
Allgemeine Theorie	11	2**	1***	7***	1.
Computer und Berech.	7	-	3	2*	2
Testvorrichtungen	6	-	1	2	4
Psychologie/Physiol	6	-	-	5	1
Datenübertragung & - aufzeichnung	4	-	2	2	
Anderes		3	-	-	3

*) einschl. Franklin Institute

**) die Studien Norbert Wieners

***) die Studien von Blackman/Bode/Shannon (BTL) bzw. Shannons Studien an der Princeton University

Die Hochschulen dominierten in den Bereichen Psychologie/Physiologie (5 von 6 Kontrakten) und grundlegende theoretische Studien (9 von 11). Die beiden größten Kontraktnehmer, MIT und Western Electric/Bell Laboratories waren besonders in den Bereichen

Servomechanismen und allgemeine Theorie (MIT) und Computer, Kommandogeräte, Datenübertragungs- und Speicherungssysteme (Bell) engagiert.[595]

Für spätere Konzepte, die Elemente dieser Problembereiche enthielten oder ansprachen, mußten in diesen Institutionen a priori günstige Chancen für interessierte Rezipientenkreise bestehen – hinzu kamen natürlich noch die Kontraktnetze der anderen NDRC-Sparten sowie (für die Industrie) die der Streitkräfte. Als Kontrast sei erwähnt, daß die Harvard-Universität in diesem Kontraktnetz lediglich durch einen Kontrakt im Bereich Psychologie/Physiologie und IBM durch einen im Bereich der Servomechanismen in Erscheinung trat.

Die theoretischen Studien wurden später unter der Koordinierung des »Applied Mathematics Panel«, die in Psychologie/Physiologie unter der des »Applied Psychology Panel« weitergeführt – ab 1942/43.

An der Entwicklung des ersten elektrischen Kommandogerätes, des M-9 der Bell Telephone Laboratories, läßt sich die besondere Rolle, die die NDRC-Organisation bei der Integration neuer Methoden in den Problembereich der feuerleitung spielte, deutlich nachweisen.

Das M-9 Kommandogerät[596] wurde 1946 vom Chef der zivilen US-Kriegsforschung, Vannevar Bush, als die Antwort auf die technologischen Anforderungen des Krieges in diesem Bereich bezeichnet.[597]

---

[595] einschließlich zweier Kontrakte an das Franklin-Institut
Q.: Aufstellung der Kontrakte D-2/Div.7 des NDRC in NAA 2. Die Verteilung der inhaltlichen Bereiche des Komplexes der Feuerleitung auf die verschiedenen Kontraktnehmer war:
davon

Problembereich	Kontrakte	MIT	WE-Co(BTL)	(sonstige)	Uni s. Industr.
Kommandogeräte	19	1	3	4*	11
Ortungsgeräte	12	-	1	2	9
Servomechanismen	11	2	-	1	8
Allgemeine Theorie	11	2**	1***	7***	1.
Computer und Berech.	7	-	3	2*	2
Testvorrichtungen	6	-	1	2	4
Psychologie/Physiol	6	-	-	5	1
Datenübertragung & - aufzeichnung	4	-	2	2	
Anderes		3	-	-	3

*) einschl. Franklin Institute

**) die Studien Norbert Wieners

***) die Studien von Blackman/Bode/Shannon (BTL) bzw. Shannons Studien an der Princeton University

[596] siehe II 1.2.3.2

[597] Bush (1946:v) in NAA 2

Ganz so natürlich, wie es nach der offiziellen OSRD-Geschichte den Eindruck macht, war die Durchsetzung eines Konzeptes eines elektrischen Kommandogerätes keineswegs.

Im Mai 1940 arbeiteten die beiden BTL-Ingenieure D.B. Parkinson und S.P. Lovell nach einer Idee Parkinsons das Konzept eines elektrischen Steuergerätes für Flugabwehr-Kanonen aus und präsentierten es dem Leiter der BTL-Forschung, M.J. Kelly und BTL-Präsident F.B. Jewett im Juni 1940 in einem Memorandum.[598] Damit war das M-9-Projekt unzweifelhaft der erste Vorstoß zu einer Integration nachrichtentechnischer Methoden in den Problembereich der Feuerleitung.[599]

Wo war, vor Gründung des NDRC, ein solcher Vorschlag in die Struktur der militärischen F+E einzuordnen?

> »Since this device would obviously contain a fair number of vacuum tubes, they judged that its development would come under the Signal Corps« (W. Weaver; 15.3.1944:2)

Außerdem war Western Electric der größte Kontraktnehmer des Signal Corps. Man hielt eine entsprechende Konferenz zwischen Signal Corps und BTL-Vertretern ab, bei der diesen bedeutet wurde, daß die richtige Adresse das »Ordnance Department« (Artillerie) der Armee wäre. Ein entsprechendes Memorandum an den »Chief of Ordnance« aber blieb ohne jede inhaltliche Reaktion. Lovell wendete sich daraufhin, im August 1940, an das »Bureau of Ordnance of the Navy«, von wo man ihm eine Woche später antwortete:

> »that they were interested in this war and not in the next war, and that they, therefore, did not think they could be concerned with the BTL-proposal« (Weaver; 15.3.1944:2f)

Der springende Punkt in der Zurückweisung des BTL-Vorschlages war die Anwendung elektrischer Methoden in einer Technologie, die als rein mechanische bereits in F+E der Streitkräfte lange Bestand gehabt hatte – durch die strenge Geheimhaltung von allen möglichen alternativen technischen Entwicklungen anderer Bereiche abgeschottet.[600]

---

[598] Dieses Memorandum, dann unter Mitarbeit von Kelly abgefaßt, war: »Anti Aircraft Gun Aiming Device«; 12.6.1940 – Diese Darstellung folgt im wesentlichen einer Darstellung, die Weaver 1944 zur Klärung der verschiedenen Ansprüche auf Verdienste um die M-9 Entwicklung anstellte: W. Weaver, »Memorandum concerning the early history of the M-9 electrical director«; 15.3.1944, NAA C7

[599] Wieners Vorschlag ging Ende 1940 beim NDRC ein. Inwieweit dem konkrete
Anfragen des NDRC aufgrund des M-9-Problems vorausgingen, ist unklar.
In dem ersten Antrag für Wieners Projekt, von S.H. Caldwell der Sektion
D-2 am 22.Nov. 1940 eingereicht (»Proposal to Sect.D-2, NDRC«; 22.11.
1940, S.H. Caldwell; NAA, 227,/SRD, Div.7, MIT-Reports, No.6), hieß es: »During the past three weeks, Dr.Norbert Wiener of the Department of Mathematics and Mr. Richard Taylor of the Department of Electrical Engineering, Massachussetts Institute of Technology, have been investigating the possibilities of a new type of attack on the fire control problem, based on securing and anticipating time through the use of electric networks.
Ein erster Test war auf dem Differential-Analysator modelliert worden. Keiner der Beteiligten (Wiener, Taylor, Crawford, Verzuh) hatte irgendeine Ahnung von den tatsächlichen militärischen Problemen. In Wieners zusammenfassenden Worten:
»The principles of design are those of electric networks in general, although the realization may be by mechanical equivalents to electrical networks« (:3).
Wiener, in seinem später an Weaver, Chef D-2, gesendeten Report (»Final Report«; um 1944. Archivstelle s.o.) bemerkte:
»This investigation had its inception in certain questions that were put to the author in the fall of 1940 concerning servo mechanism design. At that time the author was very much interested in what has become a routine matter since, namely, the use of the methods of communication engineering in servo design.« Dies spricht für einen Anstoß durch die Sekt.D-2, andererseits aber auch für, unabhängig davon, zwischen Wiener und dem EE Dept.bestehende enge Beziehungen – vor allem über das Differential Analyzer Projekt Vannevar Bush's (MIT).
Mit Sicherheit war das M-9-Projekt danach der erste Kanal zwischen Nachrichtentechnik und Feuerleitung, unabhängig davon hatte sich um den Differential Analyzer am MIT eine enge Verbindung zwischen Mathematik/Mechanik/Elektrotechnik jedoch bereits etabliert.

[600] Der ehemalige Leiter der FL-Forschung, H.L. Hazen, betont diese Punkte besonders (Hazen; 1946:5, NAA 2):
1 Feuerleitung sei »by nature one of the more highly classified and isolated areas of military endeavor«

Für eine solche Technik konnte man daher weder die Erfolgschancen noch die Entwicklungszeit in den Streitkräften abschätzen!

Der Vorschlag hatte die Zusammenarbeit zwischen Nachrichtentruppe (für die elektrische Technologie zuständig) und Artillerie (für die Operationen zuständig) erfordert. Dies war in einem Bericht des Direktors des Signal Corps, Col.R.B. Colton, an den Chief Signal Officer vom 5.9.1940 enthalten – wobei er sich auf ähnliche Zusammenarbeit im Rahmen der Funktechnik berief.[601]

Das Problem der Integration einer neuen Technik in einen traditionellen Problembereich war darin von ihm klar angesprochen:

> »lt is realized, that the proposal of the Bell Telephone Laboratories is counter to more or less established methods of the Army in that it proposes to use resistances, vacuum tubes, inductances, condensers and other well known electrical devices, whereas it has been customary in the Army to rely in so far as possible on mechanical devices, as a matter of principle.« (R.B. Colton; 5.9.1940:2)

Mittlerweile jedoch war die Gründung des NDRC vorangeschritten und über Thornton Fry (BTL,stellvertretender Chef D-2, »Fire Control«) wendete man sich an Warren Weaver, der die Sekt. D-2 leitete. Ende Oktober gab es eine Konferenz zwischen D-2 und Bell Laboratories Vertretern, in deren Ergebnis der NDRC das Projekt zu seiner Sache machte. Nach Weavers Schluß aus dieser Geschichte,

> »The NDRC definitely deserves credit for initiating the project« (Weaver; 15.3.1944:5)

nicht die Streitkräfte, die sich skeptisch bis ablehnend verhalten hätten.

Anfang 1941 wurde ein weiterer Kontrakt zwischen D-2 und den Bell Laboratories geschlossen, »for fundamental studies on director systems« (Caldwell; 21.2.1946:16)[602], der sich in der Folge der M-9-Entwicklung als erforderlich erwiesen hatte. Unter diesem Kontrakt arbeiteten Bode, Blackman und Shannon (bis 1942)[603] an einer (geometrischen) Theorie der Datenglättung und -vorhersage. Nach Einschätzung eines der Leiter NDRC-Feuerleitungsforschung war die Studie im Ergebnis dieses Kontraktes

> »one of the most fruitful sources of incentive and basic understanding in the antiaircraft field.The art of the communication engineer was peculiarly applicable to the feed-back elements of the system used, and to the frequency distributions encountered in the input data.« (S.H. Caldwell; 21.2.1946:16)

Das M-9-Projekt war nicht nur eine wichtige technische Errungenschaft in der Feuerleitung, sondern es bildete gleichzeitig einen Kanal für die Integration nachrichtentechnischer (und -theoretischer) Modelle und Methoden in den Problembereich der Feuerleitung.

Die andere Quelle für einen solchen Transfer von Methoden war mit Norbert Wieners statistischer Zeitreihenanalyse das MIT – ebenfalls über die Sektion D-2 des NDRC und im Rahmen von deren

---

2 Man hatte bis Kriegsbeginn ausschließlich mechanische Technologien in diesem Gebiet betrachtet, denn »the isolation inevitably bred by security necessarily cut off these groups not only from association with scientists and engineers at large but even from each other.«

3 Die neue Organisation brachte neue Gruppen von Wissenschaftlern in diesen Bereich, so daß man nun »relations between fire control and many varied fields of endeavor that, superficially viewed, are unrelated to it« sehen konnte.

[601] General R.B. Colton an M. Kelly (6.10.1944:3); NAA C 4 41 S.H. Caldwell, »A History of Section D-2« (21.2.1946:16), NAA FL 3

[602] S.H. Caldwell, »A History of Section D-2« (21.2.1946:16), NAA FL 3

[603] Projekt No. 11, an dem Bode, Blackman »and sometimes Dr. Shannon « arbeiteten (Weaver an Hazen; 6.11.1942; NAA 67). Dieses und Wieners Projekt wollte er mit in den Applied Mathematics Panel übernehmen und dort weiter betreuen.

Programm. Dies stellte ursprünglich eher eine Integration von Mathematik und statistischer Mechanik in den FL-Problembereich dar, die jedoch später (bereits ab 1941) mit den nachrichtentechnischen Methoden stets im Zusammenhang gesehen wurde.

Dieser Transfer von Methoden der Nachrichtentechnik in die Feuerleitungsforschung war nach Ansicht des (späteren) Chefs der entsprechenden Sparte 7 des NDRC (nach der Umstrukturierung 1942)

> »one of the most important contributions of World War II to Fire Control« (Hazen; 1947:5) [604]

Auf diese Weise wurden völlig neue Begriffe, Untersuchungsobjekte und -relationen an die Nachrichtentechniker herangetragen und von diesen mit bekannten Strukturen identifiziert.[605]

Besonders die Servotechnik als Teil des Problemkomplexes der Feuerleitung profitierte von dieser Übernahme. Servosysteme wurden später in selbstverständlicher Weise als Signalübertragungs-[606] oder Filtersysteme,[607] die mit den Methoden der Netzwerkanalyse wie der Filtertheorie (Wiener) untersucht werden konnten.

Ebenso war es auch umgekehrt der Fall, daß die Begriffe und Kategorien der Mechanik und Dynamik aus der FL-Technik in die Netzwerktheorie einflossen. Die Übernahme von

> »concepts and methods of classical dynamics quickly made network theory seem a little more like physics« (Dietzold; 1948:895)

Das Zustandekommen einer allgemeinen Servotheorie erhellt noch einmal die besondere Rolle, die nachrichtentechnische Forschung, und damit die Theorienbildung, für den Komplex der Feuerleitung spielte.

Dank der »interinstitutionellen« Konstruktion des NDRC war eine große Vielfalt verschiedener Servosysteme entwickelt worden.[608] Im April 1943 regte der damalige Chef des Applied Mathematics Panel, Warren Weaver, in Fortführung von Aufgaben, die er aus seiner Funktion als Chef der Sektion 7.5 des NDRC (»Fire Control Analysis«) wahrzunehmen hatte, an, einen allgemeinen theoretischen Bericht über all die diversen Typen von Servomechanismen zu verfassen, die in den unterschiedlichsten F+E-Zusammenhängen entwickelt worden waren (Elektrotechnik, Nachrichtentechnik, Maschinen- und Instrumentenbau etc.). Dabei ist es hier von entscheidender Bedeutung, daß die Aufgabe, dieses geographisch wie auch inhaltlich weit verstreute

> »expert knowled e concerning various types of servos... – hydraulic servos, clutch[609] servos, pneumatic servos, electrical servos of a wide variety of types« (Weaver an M.J. Kelly; 12.4.1943)[610]

---

[604] In NAA 2

[605] E.B. Ferrel (1946:372) bemerkte dazu:
»Normally, as communications engineers, they had dealt with current and inductance and bandwidth and distortion. Suddenly they found themselves worrying about velocity and mass and lag and error. Instead of the problems of speech transmission, they had the problems of gunpointing and bomb-sighting. Different quantities, different units, different equations, different methods of analysis and investigation. 0r are they?« Er kam zu dem Schluß, es seien identische grundlegende Einheiten bzw. die elektrischen konnten zur Beschreibung der mechanischen dienen.

[606] So Ferrel (1945:763):
»The purpose of a servo system is to reproduce a signal at a place, or at a power level, or in a form that is different from the original signal, but is under its control. lt is therefore a signal transmitting system.« Daher seien die Methoden Nyquists (Gegenkopplung-Stabilitätskriterien) und Bodes (Netzwerkanalyse) benutzbar.

[607] Feuerleitung und elektrische Kommunikation seien, obwohl oberflächlich keine Verwandtschaft bestehe, beide »concerned with the separation of useful information or data from the unwanted but unavoidable data in the form of ›noise‹ or rough trakking«. (ilazen; 1947:5), NAA 2

[608] Div. 7 Contracts, NAA, 227, OSRD, Div.7 - Reports of Projects 45 NAA, 227, OSRD, Div. 7, F: Appl.Math.Panel

[609] mittels mechanischer Kopplung arbeitend.

in einheitlicher Gestalt theoretisch darzustellen an die Bell Telephone Laboratories fiel (wobei Weaver zunächst an den theoretischen Physiker Karl Darrow dachte). Es sollten die verschiedensten Systeme in ihren Vor- und Nachteilen beurteilt werden, die unterschiedlichen »vocabularies« vereinheitlicht und gezeigt werden, was wirklich neu und wichtig sei.

Dem Autor sollte ein Servo-Komitee beigeordnet werden, darin Vertreter der BTL, des MIT, der Streitkräfte und der Ford Instrument Co.

Diese Arbeit erschien 1945 als »Fundamental Theory of Servomechanisms« und brachte nach Weavers Urteil einen »unified way for analyzing or design-ing a servomechanism« (Weaver; 1945:xiv).[611] Sie beruhte auf dem

> »beautiful approach to the subject that is made possible by the methods of the communications engineer« (Weaver; 1945:xv),

und sie war verfaßt,

> »by a BTL employee, on BTL-time, based on BTL knowledge« (Weaver; 20.3. 1945)[612]

Autor dieser Theorie war L.A. MacColl von der Gruppe für »Mathematical Research« der BTL.

Nach dieser und den Arbeiten einiger anderer Autoren war es so gut wie selbstverständlich, das Servo-Problem als ein Übertragungsproblem aufzufassen, als eins der Signalübertragung bzw. nach der Methode Wieners, der Signalfilterung.

An diesem Vorgang ist einiges bemerkenswert und verdient es, hervorgehoben zu werden:

a) der direkte Einfluß der koordinierenden F+E-Stelle, Div.7 – hier in Gestalt des Sektion 7.5 – (und Applied Math.) Chefs Warren Weaver

- bei der Abfassung einer generellen »interdisziplinären« Theorie der Servotechnik (»I needled MacColl into doing it« (Weaver; 20.3.1945))

b) Die funktionelle Identität der Organisationen innerhalb derer die Notwendigkeit eines solchen Berichtes erkannt wurde innerhalb der Kriegsforschung, des Applied Math. Panel mit der, innerhalb der er abgefaßt wurde innerhalb der Nachrichtentechnischen Forschung, des Mathematical Research der Bell Laboratories.[613]

Dieser Fall macht besonders deutlich, daß die nachrichtentechnischen Modelle und Methoden vor allem deshalb von großem Einfluß in den interdisziplinären technischen Theorien waren, weil die Nachrichtentechnik die mathematisch am weitesten fortgeschrittene Technik war. Die entsprechenden Voraussetzungen in F-E-Organisationen waren in der Industrie allein dort gegeben.

---

[610] NAA, 227, OSRD, Div.7, F: Apl.Math.Panel

[611] Vorwort zu »Fundamental Theory of Servomechanisms«, L.A. MacColl, New York; 1945

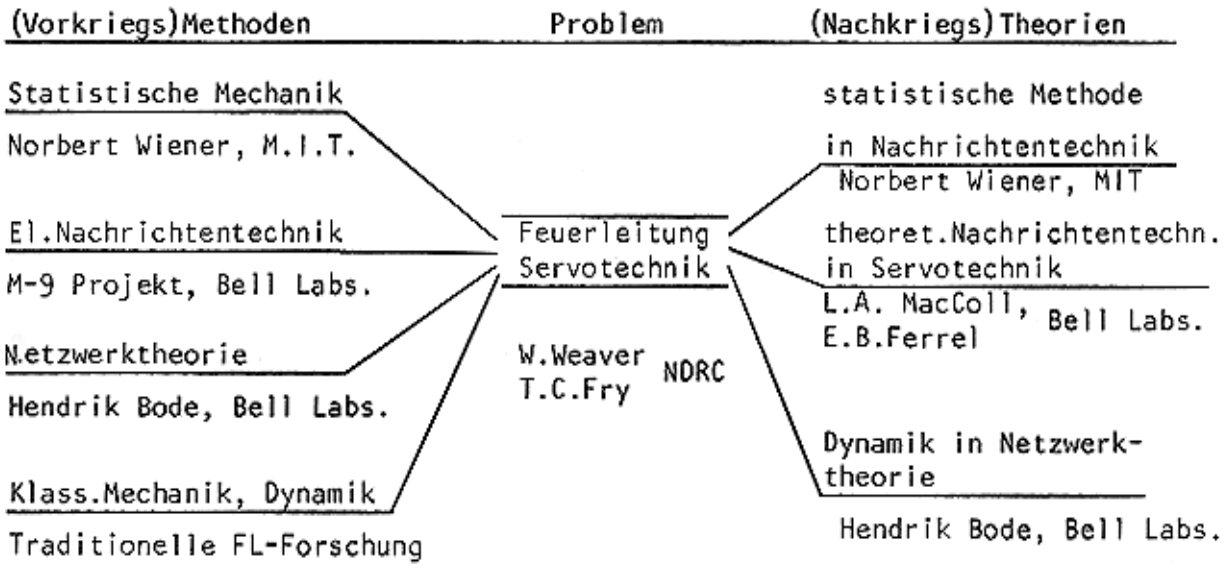
[612] NAA, 227, OSRD, Dov. 7, F:Div. 7(5)

[613] Ursprünglich hatte Weaver an einen theoretischen Physiker der BTL (Karl K. Darrow) gedacht, der aber nach Prüfung der Sachlage die Aufgabe zurückgab: »WW (Warren Weaver) gives D(arrow) some written material to read and D says that he will make a decision soon« (Weaver; 1943:1; NAA 11).
Über den weiteren Verlauf der Bericht des BTL-Mathematikers E. Gilbert:
»Darrow was not at all mathematically inclined. My guess is that it would have been too abstract to interest him ... for a while Darrow would come to MacColl for mathematical help. He finally decided that it was a more mathematical thing than he wanted to tackle and MacColl. ended up, writing a book« (E. Gilbert; 1977:2/160).
Dies ist eine plausible Approximation des tatsächlichen Verlaufs – wenn man bedenkt, wie weit inzwischen die Nachrichtentechnik ihre theoretischen Modelle direkt aus der angewandten Mathematik und nicht mehr über die Physik bezog.
Auf diesen objektiven Trend wirft diese Episode ein bezeichnendes Schlaglicht.

Zusammenfassend (und vereinfacht) läßt sich damit die Rolle der projekt-definierten NDRC-Abteilung D-2 (bzw. Sparte 7) und zum Teil des Applied Mathematics Panel für die im allgemeinen mit derartigen F+E-Strukturen verbundene Interdisziplinarität in der Übersicht in Abbildung 4 darstellen.

Feuerleit- und Servotechnik waren damit nach der Akustik (in den zwanziger Jahren) der zweite große Problemkomplex, der eine Integration mechanischer und nachrichtentechnischer Methoden zur Folge hatte.

ABBILDUNG 4: Bildung neuer Theorien im Problemkomplex der Feuerleitung in der US-Kriegsforschung



1.2.2 FORSCHUNG UND AUSBILDUNG IN ANGEWANDTER MATHEMATIK UND STATISTIK

Mit der Erschöpfung der Reserven des technisch/physikalisch ausgebildeten wissenschaftlichen Personals entdeckte man 1942 die Bedeutung der Mathematik in der Kriegsforschung. Innerhalb des NDRC wurde eine zentrale Service- und Beratungseinheit für angewandte Mathematik, der AMP etabliert. Dieser übernahm zunehmend Funktionen eigener theoretischer Forschung. Er etablierte ein Netz von Gruppen angewandter Mathematik in den USA, die nach Auflösung des NDRC in ihren lokalen Umgebungen jeweils ähnliche Funktionen übernahmen, wie der AMP innerhalb des NDRC.

In Servotechnik, Rechentechnik und Statistik koordinierte der AMP die verstreuten Aktivitäten und veranlaßte theoretische Abschlußberichte, die nach dem Krieg simultan auftauchten.

Besonders Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik verbreiteten sich durch den AMP in eine Vielzahl technischer Bereiche und bildeten eine Voraussetzung späterer gemeinsamer theoretischer Sprache.

1.2.2.1 DER APPLIED MATHEMATICS PANEL (AMP)

Im Dezember 1942 erfolgte eine vollständige Umorganisation des NDRC, bei der statt der bisherigen 4 nun 18 Sparten (»Divisions«) sowie der »Applied Mathematics Panel« unter der Leitung von Warren Weaver, eingerichtet wurden, nach Ansicht des offiziellen OSRD-Historikers, Baxter, eines der wichtigsten Ergebnisse der Umwandlung.[614]

Einer der Gründe für diese Entwicklung war vor allem der Mangel an Physikern und wissenschaftlich geschulten Ingenieuren, der extern zu einer Aufwertung der Rolle der Mathematiker und der angewandten Mathematik geführt hatte. So wurde 1942 der Status der Mathematiker, die bis dahin das Gefühl hatten, in der Kriegsforschung übersehen worden zu sein,[615] hinsichtlich ihrer Kriegswichtigkeit dem der anderen Naturwissenschaften gleichgestellt.[616]

Noch im Dezember 1941 waren die Mathematiker nach den Erfahrungen des Office of Scientific Personnel des NDRC von den Projektleitern als

> »too theoretical to be of any use« (J.c. Morris an N. Wiener; 22.12.1941)

eingeschätzt und bestenfalls

> »only as computing clerks« (ebd.) eingesetzt worden.[617]

Zwei Jahre später, 1943, konnte man von

> »the country's awakened counsciousness of the need for mathematics« (American Mathematical Monthly; 1943:215)

sprechen.[618]

Jedoch auch intern, innerhalb der Operationen des NDRC, hatte sich die Notwendigkeit einer zentralen Koordinierung der mathematisch/theoretischen Arbeit ergeben.

Der Applied Mathematics Panel wurde innerhalb des NDRC eingesetzt, ohne die direkte Mitwirkung der – externen – mathematischen Community.[619] Er war nicht gedacht, »to cover ›mathematics and the war‹« (Weaver; 1943:3)[620] sondern als Dienstleistungs- und Konsultationsgruppe für den NDRC, d. h. die Kriegsforschungsorganisation der USA. Nach der Umorganisation hatte der NDRC

---

[614] Baxter (1968:216)
[615] A.E. Ruark (Chef des Physik-Depts., Univ.of North Carolina) in einem Brief an J.B. Conant (24.2.1942:2; NAA, 227 OSRD, Scientific Personnel).
[616] Am 5.4.1943 wurde z. B. das »National Committee on Physicists« der zentralen Auswahl institution fUr spezielles Personal (»National Roster of Scientific and Specialized Personell«) durch das »National Committee on Physicists *and Mathematicians*« ersetzt! (Amer.Math.Monthly 50; 1943; 6:400 f.)
[617] Wiener Collection, M.I.T.
[618] in dem (anonymen) Artikel »The problem of securing teacher of collegiate mathematics for wartime needs« in Am.Math.Monthly 5O;1943,3:215.
[619] Nicht nur wurde der AMP »created without consulting with the mathematical fraternity« (Weaver; 12.8.1944, NAA 62, ebenso auch verschiedene andere AMP-Korrespondenzen), worüber später ausführliche Klagen von einigen Mathematikern geführt wurden und eine umfangreiche Korrespondenz entstand – sondern, »the mathematical profession, taken as a whole, is almost completely ignorant of our acitvities or even of our existence« (Weaver; 1943 in NAA 55). Man habe ihn auf einem Mathematikertreffen gefragt, so Weaver, »well, what are you doing with yourself these days« (ebd.).
[620] Darauf wies Weaver in dem in 27-6 erwähnten Disput hin. NAA 10

»18 operating divisions which cover all of the technical aspects of modern warfare. Cutting across these 18 operating divisions are 3 agencies known as panels« (Weaver; 1944:1)[621]

Deren erste war der Applied Mathematics Panel unter Weaver, dessen Aufgabe es war, diesen 18 Sparten »mathematical advice and service« (ebd.) zu geben.

Der AMP stellte im wesentlichen eine Zusammenfassung der einzelnen mathematischen Gruppen dar, die verstreut zuvor von den verschiedenen Sektionen des NDRC gebildet worden waren, »to handle their own mathematical problem« (Weaver; 1946:vii)[622]. Die neue Institution hatte diese Gruppen zu ersetzen.

Auf Anforderung zunächst allein der NDRC-Sparten, dann zunehmend auch direkt der Streitkräfte, setzte der AMP, Studiengruppen ein – in den verschiedenen Projektgruppen, die er vor allem in der Umgebung New Yorks an verschiedenen Hochschulen unterhielt.[623] Von den ca. 200 Studien des AMP bei Kriegsende waren jeweils etwa die Hälfte auf Anforderung des NDRC (technische Entwicklung) und der Streitkräfte (Betrieb, Operationen) unternommen worden,[624] 1944 hatte der AMP einen Jahresetat von etwa 1 Million,[625] unter seiner Koordination arbeiteten 269 Mathematiker und Statistiker in 12 verschiedenen Projektgruppen.[626] Zuweilen waren bis zu 300 Mathematiker, d. h. faktisch alle geeigneten des Landes unter AMP-Kontrakten tätig.[627]

Nach den Bestimmungen der Geheimhaltung wurde für jede Studie ein Verteilerschlüssel aufgestellt, der mit den auftraggebenden Stellen abgestimmt wurde und der die jeweilige Kommunikation der Ergebnisse bestimmte.[628] Die Leitung des AMP, mit Warren Weaver als Chef und Thornton Fry (BTL) als Stellvertreter[629] tagte etwa immer einmal die Woche. Auftragsvergabe und Distribution der Ergebnisse liefen über diese Leitung.

Entsprechend seiner organisatorischen Einbindung hatte der AMP verschiedene Klassen von Mitgliedern: »Divisional members« – die gleichzeitig Mitglieder in verschiedenen, an mathematischen Analysen besonders interessierten *NDRC-Sparten* waren, und »Additional Appointed Members«, die bestimmte *Fachgebiete* der Mathematik repräsentierten.[630] Inhaltlich bewegte sich die Tätigkeit des AMP während des Krieges vor allem in den 4 Bereichen:[631]

1 klassische angewandte Mathematik[632]

2 Analytische Studien des Luftkrieges[633]

3 Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik[634]

4 Dienstleistung in numerischer Berechnung,[635] einschließlich der Untersuchung von »nature and capabilities« von Rechenmaschinen.

---

[621] in NAA 7
[622] in NAA 1
[623] Weaver (1944:2), NAA 7
[624] Weaver (1946:vii), NAA 1
[625] Weaver (1944:1), NAA 7
[626] im Juli 1944 Q.: »AMP Descriptive Summary«, Warren Weaver; 19.7.1944, NAA, 227,/OsRD,AMP
[627] Weaver (1977/1/382) im Interview
[628] Weaver (1944:2), NAA 6
[629] unter den weiteren Mitgliedern und Beratern: H.M. Morse, Oswald Veblen, Richard Courant, S.S.Wilks
[630] Weaver (23.12.1942), NAA 63
[631] Weaver (1946:vii), NAA 1
[632] Wie Mechanik, Dynamik, Elastizitätstheorie, Hydro-, Thermo-, Elektrodynamik
[633] Wie Flugabwehr, Raketenleitung, Feuerleitung, Boden-Luft-, Luft-Luft-, Wasser-Luft-Kampf.
[634] Feuer- und Bombardierungseffektanalyse, Planung von Experimenten, Qualitätskontrolle
[635] Wie Integraltabellen und -diagramme

Davon waren die letzten drei Arbeitsfelder, die unter die Stichworte Feuerleitung, Statistik und Computerentwicklung fallen für die spätere Entwicklung der verschiedenen interdisziplinären Bewegungen, der statistischen Nachrichtentheorien und der Entwicklung von Schaltungslogik und Automatentheorie von größter Bedeutung.

Wie in den anderen NDRC-Abteilungen, wurden auch durch den AMP an verschiedenen Hochschulen und anderen Institutionen Forschungszentren zu bestimmten Problemkreisen eingerichtet, in denen Personal aus dem mathematischen Potential der gesamten USA konzentriert wurde.

Tabelle 3 zeigt den entsprechenden Querschnitt für den 1.3.1945, als in 12 Projektgruppen an 10 Institutionen 203 Mathematiker (sen.u.jun.) für den AMP arbeiteten. Das Zentrum der AMP-Arbeit war in Statistik und angewandter Mathematik die Columbia Universität in New York. In deren Gruppe für angewandte Mathematik waren zu dieser Zeit 35 Mathematiker aus 19 verschiedenen Institutionen der USA beschäftigt – in der statistischen Forschungsgruppe 37 aus 15 verschiedenen Institutionen.

TABELLE 3: Die Kontraktgruppen des Applied Mathematics Panel des NDRC, 1.3.1945 (Q.: Organization and Personnel of the AMP; Summary Techn.Report)[636]

Name der Gruppe	Institution	Leiter	Anzahl der Mitarb.	aus versch. Instit.
Applied Mathematics Gr.	Columbia Univ.	S.McLane a)	35	19
Applied Mathematics Gr.	New York Univ.	R.Courant	17	10
Applied Mathematics Gr.	Northwestern U.	W. Leighton	16	6
Applied Mathematics Gr.	Brown Universit.	R.Richardson	13	6
Applied Mathematics Gr.	Inst.f.Adv.Study	J.v.Neumann	2	1
Applied Mathematics Gr.	Harvard Univ.	G.Birkhoff	4	3
	Carnegie Inst. – Mount Wilson Observatory	W.S. Adams	16	3
Statistical Research G.	Columbia Univ.	H.Hotelling b)	37	15
Statistical Research G.	Princeton Univ.	S.S.Wilks	15	9
Bombing Research Group	Univ. of Californ.	J. Neyman	10	1
Bombing Research Group	Columbia Univ.	J. Schilt	3	2
Mathematical Tables Proj.	Nat.Bureau of Stand.	A.N. Lowan	35	-

a) Hier war u.a. Leon Brillouin weiteres Mitglied der später im Gebiet »Informationstheorie und Physik« vor allem tätig war (1956).
b) Weitere Mitglieder u.a. W.A. Wallis, J.H. Bigelow (Koautorschaft mit Wiener), Milton Friedman (Ökonom), J. Wolfowitz

Dieses bedeutete eine ungeheure Verbreitung angewandter Mathematik allgemein und von Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik darin speziell. Erstere – zuvor nicht sonderlich respektabel[637] – wurde auf diese Weise in vielen zentralen Gruppen in »überkritischer Menge«[638] konzentriert. Mit der Konzentration angewandter Mathematiker ging die »Umwandlung« einer Reihe von reinen Mathematikern in angewandte einher. Mit den Worten des AMP-Chefs Weaver:

»We converted (a lot of people) to applied mathematics« (Weaver; 1977:1/ 265).

Das Beispiel von Gruppen angewandter Mathematik machte Schule – bzw. die in zentrale Gruppen investierten Aufwendungen ließen ihre weitere Nutzung plausibel erscheinen:

[636]NAA, 227,/OSRD, AMP
[637] Weaver (1977:1/865) und weiter oben
[638] Hoffmann (1962:51) nennt »Kritische Masse« die Mindestanzahl von Forschern für sinnvolle Forschung.

Es bildeten sich Zeitschriften für angewandte Mathematik[639] in den 40'er Jahren; auch am MIT wurde 1942 die Gründung eines »Research Center for Applied Mathematics« vorgeschlagen[640]; 1947 wurden in den USA am National Bureau of Standards die »National Applied Mathematics Laboratories« gegründet[641] (zuvor hatte dort eine AMP-Projektgruppe bestanden – s.Tabelle -, Leiter wurde der ehemalige AMP-Verbindungsmann zur Navy, J.H. Curtiss); 1944 wurde in Großbritannien die Nachkriegsgründung eines »National Mathematics Service« beschlossen, in Form einer neuen Abteilung des National Physical Laboratory in Teddington – unter der Leitung eines in Statistik und Qualitätskontrolle während des Krieges tätigen Wissenschaftlers.[642] Diese Institution sollte wieder die drei Abteilungen

1 Berechnungen (Methodenanalyse und Durchführung)

2 Mathematische Maschinen (Entwicklung und Nutzung)

3 Statistik

haben und sollte seinerseits der Industrie als Dienstleistungsorganisation zur Verfügung stehen, wie auch diese erst zur Nutzung mathematischer Methoden ermutigen. Ebenso bildete 1946 auch die britische Institution of Radio Engineers ihre spezielle Gruppe für mathematische Probleme.[643]

Nach der Auflösung des AMP-Netzes begannen die einzelnen Gruppen für Angewandte Mathematik innerhalb ihrer jeweiligen lokalen Umgebung in ähnlicher Weise als Service- und Beratungseinheiten zu operieren, wie der AMP innerhalb des NDRC. Insgesamt war eine weite Verbreitung des Modells von theoretischen Serviceorganisationen die Folge – integrativer Bestandteil war dabei die Verbreitung von Rechenzentren.

Nicht umsonst erlebte kein anderes Fachgebiet nach dem Krieg einen derartigen zahlenmäßigen Zuwachs in der Industrie wie die Mathematik.[644]

Mit dem letzten Beispiel für den Trend zur angewandten Mathematik gelangt man bereits in die Nähe der durch die amerikanische Parallelorganisation (Institute of Radio Engineers – IRE) später eingesetzten »Professional Groups«, deren eine dann die »Professional Group on Information Theory« war.

Die Arbeit des Applied Mathematics Panel war von einer typischen Eigendynamik gekennzeichnet, die von reiner Dienstleistung des Typs »Please, solve this differential equation« (Weaver; 14.2.1945:3)[645] in Richtung mathematischer Forschung führte. Weaver diskutierte diese Entwicklung mehrfach ausführlich.

Mathematische Dienstleistung

> »in the restricted and limiting sense of ›doing what the other fellow wants‹« (Weaver; 14.12.1945:3)

sei der Beginn der meisten AMP-Aufträge, jedoch

---

[639] Wie das Quarterly of Applied Matheamtics (Richardson; 1943:420)
[640] Wiener Collection, MIT, Memorandum 1942:1943 vom Head des Math.Dept.
[641] m.Math.Monthly 54; 1947:619, »National Applied Mathematics Laboratories established«. Daten über Curtiss aus AMP Summary Report No. 905.1
[642] Chef: J.R. Womersley vom »Ministry of Supply Advisory Service on Statistical Method and Quality Control« (H.M. MacNeille an M.Rees (AMP); 21. 10.1944, NAA GB 3)
[643] Mitteilung in Journ.Brit.I.R.E. 6; 1946, 4:136
[644] siehe Abschnitt IV
[645] in NAA 54

»in the process of doing so, one s major opportunity often I es in gently leading the other fellow to see what he ought to want.« (Weaver, ebd.)

Besser und präziser gestellte Fragen führten auch zu mathematisch und schließlich numerisch einfacheren Ausdrücken – was allerdings eine genauere Analyse des Problems voraussetzte. Oft war nämlich der Fall, was Weaver für das Problem der Bomben-Zielung schilderte:[646]

»We were told that not only were the answers unavailable, but it was somewhat indefinite as to what the questions ought to be« (Weaver; 1944:2)

Der Strategie *»erste Fragen beantworten – präzisere Fragen stellen«* entsprechend unterschied Weaver zwei Stadien mathematischer Dienstleistung für Bereiche der Produktion, der technischen Entwicklung oder der Operationen:

1 bestmögliche Beantwortung der konkret gestellten Fragen

2 mathematische Analyse des Problemzusammenhanges und die entsprechende Umorganisierung der Versuche, Tests etc.[647]

Daher konnte er 1946 rückblickend und zusammenfassend feststellen,[648]

»the consulting activities, growing out of studies, originally undertaken to answer specific questions turned out to be considerably more extensive and significant than was originally anticipated.« (Weaver; 1946:vii)

So reichte das Spektrum mathematischer Aktivitäten während des Krieges von einfachen Dienstleistungen im Grundlagenbereich bis zu Operationsanalyse und der Bildung allgemeinerer Theorien.[649]

In allen drei eingangs genannten Gebieten – Feuerleitung, Statistik, Computerentwicklung – machte sich derselbe oben erwähnte Trend von der reinen Problemlösung zur Theorienbildung bemerkbar.

1.2.2.2 COMPUTERENTWICKLUNG

In ähnlicher Weise, wie im Fall von Feuerleitung und Servotechnik integrierte Weaver über die Sektion D-2 des NDRC bzw. den AMP die verschiedenen, in den USA laufenden Computerprojekte, die er als den Beginn einer »experimental mathematics« (Weaver; 17.3.1945:xii)[650] auffaßte.

So wurde die Analyse digitaler Computer von George Stibitz (22.12.1944) über Kanäle der Feuerleitungs-Sparte (7) des NDRC nach Großbritannien geleitet,[651] so zirkulierten bis Mitte 1942 über Sektion D-2 bereits 14 Computer-Reports in 113 Exemplaren in Army, Navy, Bell Laboratories, RCA, National Cash Register Co. und NDRC.[652] Im April 1942 war auf einer Konferenz aller an Computerprojekten im Bereich des Feuerleitungs-Problemkomplexes arbeitenden Institutionen die zentrale Dis-

[646] in NAA W 3
[647] Weaver (14.12.1945:4), NAA 54
[648] in NAA 1
[649] Weaver (14.12.1945:1), NAA 54
[650] Vorwort zu MacColl (1946)
[651] A.H. Musson an H.L. Hazen; 21.4.1944, NAA, 227, OSRD, Div. 7, Brit.Reports 79 »Electronic Computers Reports«; Mitte 1942, NAA, 227, OSRD, Div. 7, Electr. Comp. Reports
[652] »Electronic Computers Report«; Mitte 1942, NAA, 227, OSRD, Div.7, Electr.Comp.Reports

tribution der Ergebnisse der Forschungen über Warren Weaver unter den obengenannten Institutionen sowie Eastman Kodak und dem Electrical Engineering Department des MIT vereinbart worden.[653]

Im April 1944 hatte Weaver John v. Neumann mit George Stibitz (Relais-Computer der BTL) in Kontakt gebracht, worüber sich von Neumann »extremely glad« zeigte.[654] Im Dezember 1944 wandten sich Aiken, Wiener, von Neumann und Pitts (die Initiativ-Mitglieder der ersten »teleologischen«, später »kybernetischen« Zirkel) an Weaver, er möge Arrangements für sie treffen, die RCA- und Moore School Computer kennenzulernen.[655]

Schließlich wurde vom AMP unter Weavers Leitung die Studie 171 initiiert,[656]

> »to provide for a survey of the most important computing mach ines which have been developed within the last few years, and to investigate the routines best adapted for use with modern computing mechanisms« (T.C.Fry an H.B. Allen; 22.8.1945)

Ergebnisse dieser Initiative waren die Berichte von George Stibitz über Relais-Computer (der bereits fertiggestellt war) und von Neumanns – später berühmter – »general report on computing machines and methods« (Fry;ebd.).

Hier fiel dem AMP (als der eher theoretisch orientierten Folgeinstitution der Abteilungen für Feuerleitungs-Probleme) wieder die Rolle zu wie im Fall der Servotheorie:

Koordinierung der Kommunikation verschiedener Gruppen und Initiierung allgemeiner theoretischer Übersichten.

Diese tauchten später in unterschiedlichen Zusammenhängen als Veröffentlichungen auf – und waren nicht Manifestationen einer geheimnisvollen simultanen Tendenz, als vielmehr direkte Ergebnisse der F&E-Koordination durch eine Organisation, die nach dem Krieg dann allerdings bereits verschwunden war (als diese Veröffentlichungen erschienen). Sie waren so gewissermaßen die *»theoretischen Schatten« einer bereits aufgelösten F&E Organisation.*

1.2.2.3 STATISTIK

Eine große Rolle in den Studien des AMP spielten Wahrscheinlichkeitstheorie und mathematische Statistik. Sie wurden »applied to an almost unbelievably wide array of problems« (Weaver; 1946:6).[657] Zwei der 5 Bände des AMP-Abschlußberichtes waren ausschließlich statistischen Untersuchungen gewidmet, andere zum Teil.[658]

Die wichtigsten Gebiete, in denen man sich wahrscheinlichkeitstheoretischer Methoden bediente, waren »Bombing Accuracy Research«, d. h. Analyse der Zielauswahl und der Bombardierungsmuster, Operationsanalyse allgemein und Qualitätskontrolle in Produktion und Testung. Gegen Ende des Krieges waren 3 AMP-Gruppen in insgesamt 19 Studien in wahrscheinlichkeitstheoretischen und statistischen Aspekten von Bombardierungsproblemen engagiert.[659]

---

[653] »Conference on Electronic Fire Control Computers« 16.4.1942, NAA C 1. Frage Nummer 1 der Konferenz war: »How can complete technical information be made available to the various groups working on this subject?« Teilnehmende Gruppen waren: Army, Navy, RCA, BTL, Eastman Kodak, MITElectrical Engineering Department und Sektion D-2 des NDRC
[654] J.V. Neumann an W. Weaver (10.4.1944), Von Neumann Papers, Libr.of Congress; C:22, F:Computer/Goldstine
[655] Weaver (11.12.1944), NAA W 2
[656] NAA, 227, OSRD, AMP
[657] in NAA 1
[658] Weaver (14.12.1945:11) in NAA 54
[659] Weaver (1946:5) in NAA 1

Das wohl deutlichste Beispiel für die schnelle Verbreitung einer Methode war die Nutzung statistischer Methoden zur Qualitätskontrolle.

Diese waren von dem Bell-Mathematiker W.A. Shewart in den zwanziger Jahren entwickelt worden (1931) – unter den Bedingungen der besonderen Qualitätsanforderungen für den Einbau von Teilen normierter Produktion in ein zusammenhängendes großes technisches System. Über deren Verbreitung hieß es in dem Jahresprogramm des »Subcommittee on Statistical Methods« der American Institution of Electrical Engineers (AIEE), 1945:[660]

> »The methods developed in the Bell Telephone Laboratories through the pioneer work of Walter A. Shewart have found extensive applications in American and British industries and have aided the war effort tremendously by effecting improvement in quality, increased production and reduction in costs.« (Years Program; 1945:159)

Das US 0ffice of Production Research and Development und das US-Office of Education unterstützten nach dem Krieg ein gemeinsames Ausbildungsprogramm an den Hochschulen in statistischer Qualitätskontrolle; eine Artikelserie in der AIEE-Zeitschrift »Electrical Engineering« begann, den Elektrotechnikern statistische Modelle und Methoden näherzubringen.[661]

Warren Weaver bemerkte, daß der AMP allein durch seine Tätigkeit in mathematischer Statistik sein Budget bei weitem gerechtfertigt hätte.[662] Noch rapider verbreitete sich eine spezielle, erst unter AMP-Kontrakten von der statistischen Forschungsgruppe der Columbia Universität entwickelte Analyse- und Testmethode, die »Sequential Analysis«. Anfang 1945 war diese Methode – durch die Produktionskontrakte des Office of the Quartermaster General – auf 1.800 Kontraktoren innerhalb der USA verbreitet worden. Für die nächsten 6 Monate, bis September 1945 wurde die Verdoppelung dieser Zahl angenommen![663] Das Bureau of Ships, das Bureau of Ordnance (der Navy), das Bureau of Aeronautics und das Bureau of Supplies and Accounts etablierten entsprechende statistische Dienstleistungs- und Forschungsabteilungen und forderten die Ausbildung ihrer Leute in den neuen Methoden durch den AMP an.[664]

Das Standardwerk über Sequentielle Analysis, »Sequential Analysis« von Wald und Wolfowitz (1947) war das direkte Resultat desselben Prozesses abschliessender theoretischer Übersicht über das während des Krieges geleistete, wie die erwähnten Berichte über Servotheorie und Computerentwicklungen.

In dem Antrag eines der Leiter der Statistischen Forschungsgruppe der Columbia Universität, W.A. Wallis (Mitglied des AMP) an den NDRC für die Finanzierung und Dokumentenüberstellung an diese AMP-Gruppe eines abschließenden, zusammenfassenden Berichtes werden die Beweggründe dafür – die in anderen Bereichen ähnlich waren – gut deutlich. In einem Report über »Preservation of Scientific Values Created in the Course of War Research by Statistical Research Group, Columbia University« sagte er dazu:[665]

> »In the course of the (war)work, substantial developments have been made in the art of statistics (›statistical engineering‹), as well as some in the theory of statistics (›mathematical statistics‹).

---

[660] »Subcommittee on Statistical Methods Announces Years Program«, in Electr.Eng. 64; 1945, 4:159

[661] »Educational Program Planned at Conference on Statistical Methods«, in Electr.Eng. 64; 1945, 3:117.
Teilnehmer dieser Konferenz Über Statistische Methoden in Technik und Produktion waren Westinghouse, General Electric, Bell Laboratories, Navy- und Hochschullabors.

[662] Weaver (14.12.1945:11) in NAA 54

[663] Painter an Gen.G.F. Doriot (Pentagon); 24.3.1945, NAA 60, worin er die Forderung nach »Deklassifizierung« (Aberkennung der Geheimhaltungsvorschrift) für den »Sequential Analysis«-Report aufstellte.

[664] A.J. Wellings an Navy Dept.; 6.2.1945, NAA 60

[665] NAA 60, Hervorhebung - F.H.

> These developments are to a considerable extent embodied only in letters, memoranda, reports on military subjects, intra-office memoranda, personal notes, worksheets, or people's heads and most of them will almost surely be irretrievably lost if SRG disperses on 30. September.
>
> Much of this material could be salvaged and would be of real value in conveying to statisticians, experimental scientists, and industrial engineers the ›know-how‹ of applying and interpreting statistical techniques that has been built up almost as a by-product of the responsible handling of practical military problems through cooperation within SRG with a wide variety of military, scientific, and industrial personnel.« (Wallis; 28.8.1945:1)

Man brauche, so weiter, Finanzen für die Sicherung der Dokumente, Zugang zu diesen und Finanzen für die Abfassung des Berichtes, durch den das Material

> »improved, clarified, generalized, integrated and cleared of references to classified subjects« (Wallis; ebd.)

werden sollte.

Aus diesen Äußerungen, wie auch der Darstellung der äquivalenten Entwicklungen in Servo- und Computertechnik geht die Bedeutung der Vollständigkeit des Kontraktzyklus *in einem Forschungskontext* für die Bildung der allgemeinen Theorien nach dem Krieg hervor. Als sie veröffentlicht wurden, waren diese Strukturen dann bereits aufgelöst.

Es liegt die Vermutung nahe, daß der Abstand in derartigen allgemeinen mathematischen Theorien, der zwischen Deutschland und den Anglo-Amerikanischen Alliierten bei Ende des Krieges viel größer war als in den Kriegstechniken schließlich selbst, zu einem beträchtlichen Teil auf das abrupte Ende der hiesigen Kriegs-F+E-Strukturen auf die Unterbrechung eines solchen Kontraktzyklus zurückgeht.

Nach der Verbreitung statistischer Methoden während des Krieges war es kein Wunder, daß man nach dem Krieg eine Nachfrage nach (mathematischen) Statistikern verzeichnen konnte, die, anteilmäßig, die aller anderen Fächer überstieg. Von dem atemberaubenden Wachstum, das die Mathematik nach dem Krieg in der Industrie durchmachte, ging ein guter Teil auf die Rechnung der Statistik.

In einem 1947 erschienenen Report des National Research Council, »Personnel and Training Problems Created by the Recent Growth of Applied Statistics in the United States« wurden die Zahlen der am 31.12.1945 im »National Roster of Scientific and Specialized Personnel« verzeichneten Mathematiker, Physiker und Statistiker der Zahl der Nachfragen nach Personal zwischen dem 1.9.1945 – 31.5.1946 für diese Gebiete gegenübergestellt. Danach waren 9.972 Mathematiker verzeichnet, bei Personalnachfragen von 4,4 je 1000 Mathematiker; 9.608 Physiker, bei Nachfragen nach 23,9 je 1000 Physikern und 2.018 Statistiker mit 30,7 Nachfragen je 1000 verzeichneter Statistiker.

Daraus wird neben der überproportionalen Nachfrage nach Statistikern auch der deutliche *Überhang* an mathematisch Trainierten nach dem Krieg deutlich, was zur Mathematisierung bis dato weniger mathematisierter Bereiche beitragen sollte.

Entsprechend wuchsen die großen statistischen Fachverbände. Die im vorigen Jahrhundert gegründete American Statistical Association, 1935 mit 1.700 Mitgliedern, hatte 1946 4.000 Mitglieder – das erst 1935 gegründete Institute of Mathematical Statistics hatte 1946 immerhin 900 Mitglieder.[666]

Damit nahmen natürlich auch in der Ausbildung die Bestrebungen zu, neue Kurse zu bieten, Stipendien zu schaffen, etc.,

---

[666] Wilks (1947:525)

»to meet the growing demands for statistical personnel« (Wilsk; 1947:527)

Für diese Kurse wurden inhaltliche Elemente gefordert, wie sie später z.T. wichtige Bestandteile der statistischen Kommunikations- und Informationstheorie bilden sollten.[667] Wieners Vorhersagetheorie, essentiell statistischer Natur, war – in vereinfachter Form – bereits seit 1943 Teil der statistischen Kurse am MIT.[668]

Und es wurde 1947, in dem oben erwähnten Bericht des National Research Council, gefordert, um dem Mangel qualifizierten Personals in »Applied Statistics« abzuhelfen,

»to promote conferences at advanced levels« (Wilks; 1947:528)

Auf einigen derartigen Versammlungen trugen Wiener, Weaver, Shannon und andere später die Konzepte statistischer Informations- und Kommunikationstheorie oder Kybernetik vor. Mit anderen Worten, die Verbreitung der -und das Interesse an statistischen Methoden und Modellen *schuf einen wichtigen Kanal, über den sich die Botschaften der statistischen Informationskonzepte verbreiten ließen.* Anderen, nichtstatistischen Informationskonzepten sollten diese Rezipientengruppen später fehlen.

1.2.3 WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG UND AUSBILDUNG

Da die Forschung des Krieges nicht mehr disziplin-, sondern projektorientiert war, gingen Forschung und Ausbildung in allen »reinen« Lehrgebieten zurück.

Lediglich die Ausbildung in angewandter Mathematik begann ab etwa 1943 stark anzusteigen.

Ein Index für die Forschungsintensität in den reinen Lehrgebieten ist die Zahl der Promotionen zwischen 1940 und 1944, die Tabelle 4 zeigt.

TABELLE 4: Promotionen in Chemie, Mathematik, Physik und Ingenieurwesen in den USA während des Zweiten Weltkrieges (Q.: Kline (1946:121) und Walker (1945))

Jahr	Gesamt*	Ingenieurwesen	Mathematik
1940	1.030	80	89
1941	920	77	104
1942	820	43	76
1943	780	30	51
1944	300	3	39

* Chemie+Physik+Ingenieurwesen+Mathematik

Das leichte Ansteigen der Zahl der mathematischen Dissertationen – bis 1941 – gegen den Trend der naturwissenschaftlich/technischen Disziplinen allgemein reflektiert die Tatsache, daß die Mathematik erst seit 1942 – mit der Ausschöpfung der Reservoirs der anderen, offensichtlicher kriegswichtigen Disziplinen – als ebenfalls kriegswichtig angesehen wurde und deren Status teilte.

Gründe für die Abnahme der Studentenzahlen in den reinen Disziplinen waren vor allem die Einberufungen zu den Streitkräften (mit dort oft anschließender anderer Ausbildung). Dies war einer der Gründe für die Abnahme der Zahl der Promotionen, jedoch nicht der entscheidende.

[667] Elemente wie: Matrix-Algebra, n-dimensionale Euklidische Geometrie, Maß- und Integrationstheorie (Wilks; 1947:527)
[668] Phillips (1943:307)

Graduierte Studenten wurden von der Einberufung freigestellt, wenn sie mindestens 15 Stunden pro Woche unterrichteten, da andere Lehrer zum großen Teil bereits in der Kriegsforschung engagiert waren – »this left very little time for graduate work« (Kline; 1946:122). Daher war auch

> »graduate work in mathematics ... rapidly approaching the vanishing point« (Price; 1943:34).

Und schließlich entschloß sich ein weiterer Teil, statt in den aktiven Dienst oder die Lehre zu gehen, für die direkte Kriegsforschung[669] »in connection with various projects such as the Radiation Laboratory and Aberdeen Proving Ground«[670] (Kline; 1946:123,. Die Zahl der elektrotechnischen Dissertationen am MIT (mit dem das Radiation Laboratory verbunden war) sank von 19 in dem Jahrfünft von 1935-39 auf 6 in der Zeit von 1940-44![671], Ausbildungs- und Kriegsforschungsverpflichtungen bzw. umfangreichere Möglichkeiten gab es für die *Mathematiker* erst ab 1942. Die Zahl ihrer Promotionen stieg zunächst, obwohl sie gleichzeitig in dieser Zeit – bis Juli 1942, anders als die anderen genannten Wissenschaftler – nicht automatisch von der Einberufung freigestellt gewesen waren und anderweitig als kriegswichtig anerkannt.[672] Dies änderte sich im Juli 1942, allerdings nur bis April 1944.

Erst als man nämlich realisiert hatte, daß 1942 von Physikern, Chemikern und (Mechanik- und Elektro-) Ingenieuren in den Industrielabors nur noch 17%, an den Hochschulen nur noch 5% als Reserve für zusätzlichen Einsatz in der Kriegsforschung zur Verfügung standen, von den Mathematikern immerhin noch 13% und von den Biologen noch 17%[673] , griff man in koordinierterer Weise auf diese zurück. Diese Ausgangssituation war ein *wesentlicher Grund für die Interdisziplinarität* der danach in den USA startenden neuen Kriegsforschungsaktivitäten, wie der Operationsforschungseinheiten von Army und Navy.[674]

Die Nachfrage der Streitkräfte nach Elektronik und Funktechnik hatte auch einen direkten »Kurswechsel« von Studenten zur Folge, die in der Ausbildung Methoden wählten, die ihnen während des Kriegseinsatzes mehr Nutzen (und sicher angenehmere Posten) versprachen. So hieß es beispielsweise in einem Report über die Elektrotechnikausbildung am MIT von 1943:[675]

> »Because of the fact that a large number of the junior students are in the R(eserve), O(fficer) T(raining) C(ourse) and therefore expect to be called to active duty in June (1943), many of them are substituting communications subjects for Economics, General Studies and some engineering subjects as to enter the Army with the maximum background in Electronics and Ultra High Frequency Techniques.« (Report; 26.1.1943:2)

Was an traditioneller wissenschaftlicher und technischer Ausbildung ausgelassen wurde, wurde an intensiver und spezialisierter Ausbildung in Elektronik, Funk-, Radar- und Nachrichtentechnik absolviert, die von dringender Notwendigkeit geworden war.

Ebenso aber auch – und das im Gegensatz zu den traditionellen Wissenschaften in der angewandten Mathematik.

Die Zahl der regulären Studenten war in allen Gebieten gesunken, selbst die Zahl der Elektrotechnik- und Ingenieurstudenten nahm rapide ab. Waren es noch 1941/42 insgesamt in den USA 120.000 Inge-

---

[669] In der man vor Einberufungen so gut wie sicher war. Von 9.766 Einberufungen von unter OSRD-Kontrakten stehenden Wissenschaftlern und Ingenieuren wurden nur 64 tatsächlich eingezogen! (Baxter; 1968:135)
[670] Test- und Entwicklungslabor für Artillerie
[671] Nach einer Zusammenstellung von K. Wildes (unpubl.)
[672] Kline (1946:121 ff.)
[673] King (1943:113)
[674] In Deutschland war dieses Reservoir längst verloren gewesen. Selbst Ingenieure und Techniker der Hochfrequenztechnik hatte man eingezogen und mußte sie Ende 1943 in einer aufwendigen Rückrufaktion wieder von der Front abziehen (Reuter; 1971:192 f.)
[675] »Report of the visiting committee of the Department of Electrical Engineering «; 26.1.1943, V. Bush-Papers, Libr.o.Congr., 71:1724

nieurstudenten, so war deren Zahl 1944/45 auf ein Drittel dieses Standes, 40.000 gesunken. Die Zahl der Elektrotechnikstudenten sank von 17.000 im Jahr 1941/42 auf 6.000 in 1944/45 im gleichen Verhältnis.[676] Die Zahl der regulären Mathematikstudenten sank von 7.120 in 1942 auf 4.661, in 1943.[677]

Allerdings eben gab es in der angewandten Mathematik einen immensen Bedarf an Lehrern, denn die Wellen von Auszubildenden, die die Notwendigkeiten des technischen Krieges in die Colleges und Hochschulen spülten, ließ auch die Zahl der Hörer mathematischer Kurse dieser Sonderausbildungsprogramme ansteigen. Ein Mangel an Mathematikinstrukteuren machte sich breit.[678] Für 250.000 Auszubildende, die ab 1943 in 300 Colleges und Hochschulen gesandt wurden, benötigte man etwa 2.500 solcher Instrukteure.[679]

Im selben Jahr, 1943, ein Jahr nach der Wende in der Beurteilung der Mathematik im Krieg, war bereits ein

»big increase in teaching and research in applied mathematics« (Price;1943: 32)

zu verzeichnen. Die wichtigsten Gebiete, die die neugeschaffenen Kurse an den verschiedensten Hochschulen anboten, waren angewandte Mathematik in[680]

1 Artillerie, äußere Ballistik,

2 Kryptografie, Kryptanalysis,

3 Mechanik,

4 Meteorologie.

Gebiete, die in der Kriegsforschung, wie auch z.T. in der hier interessierenden Theorienbildung eine wichtige Rolle spielten.

Hier bleibt festzuhalten, daß die traditionelle wissenschaftliche Forschung während des Krieges schnell an Bedeutung verlor, spezielle Bereiche der angewandten Mathematik dagegen größere Bedeutung erlangten. Noch deutlicher ist die Verschiebung von Ausbildung und Forschung in Richtung von Nachrichtentechnik/Elektronik.

1.3 NACHRICHTENTECHNISCHE FORSCHUNG UND AUSBILDUNG

Größter Kontaktgeber im Bereich der Nachrichtentechnik war das Signal Corps, die Nachrichtentruppe der US-Army.

Seine Aufgabe bestand in der Installation, der Erhaltung und dem Betrieb der weltweiten Nachrichtennetze.[681] Diese Funktion war sehr ähnlich der, die die Post- und Telegraphenverwaltungen in kommer-

---

[676] Walker (1945:313)
[677] »Some Data on Mathematics in Colleges «, Am.Math.Monthly, vol.51; 1944: 362
[678] Price (1943:33)
[679]»The Problem of Securing Teachers of Collegiate Mathematics for Wartime Needs « in Am.Math.Mo.50; 1943,3:215
[680] Price (1945:31 ff.)
[681] Signal Corps (1957:427)

zieller Nachrichtentechnik ausfüllten,[682] weshalb auch für das Signal Corps »virtually an AT&T System« gefordert wurde (Signal Corps; 1957:367).

3 Einheiten bildeten die prinzipielle Signal Corps Organisation, das *Netz*, der *Verkehr* und dessen *Sicherheit*,[683] die sich im Laufe des Krieges zwar des öfteren in Bezeichnung und Leitung änderten, aber im wesentlichen erhalten blieben. Die Funktion »Sicherheit« trug dabei den Bedingungen des Betriebes militärischer Nachrichtennetze Rechnung.

Forschung und Entwicklung[684] wickelte das Signal Corps vor allem über ein weitverzweigtes Kontraktsystem ab,[685] von denen 80% als Erstkontrakte an die »big 5« (Western Electric, General Electric, Radio Corporation of America, Westinghouse und Bendix) gingen. 30 – 40% davon mußten jedoch an weitere Subkontraktoren vergeben werden.[686] Solche Subkontrakte gingen zuweilen für einzelne Systeme bis in die Tausende.[687]

Funk- und Radartechnik und -gerät machte dabei während des Krieges 93% aller Signal Corps Beschaffungen aus. Nur 6% galten Leitungstechniken und -gerät.[688] 62% aller in Forschung und Entwicklung engagierten Offiziere waren mit 55% aller engagierten Zivilisten in der Radartechnik für das Signal Corps tätig.[689] Deren Gesamtzahl stieg rapide an, von 1.682 im Juni 1941 (6 Monate vor Pearl Harbor) auf 14.695 im Juni 1942 (6 Monate danach). Größter Auftragnehmer war bei weitem die Western Electric, mit 932 Mio. $ vor General Electric mit 386 Mio. und Bendix mit 325 Mio. $ in der Mitte 1942.[690] Western Electric hatte fast vollständig auf die Kriegsproduktion umgestellt, produzierte mehr als jedes andere Industrieunternehmen an nachrichtentechnischem Gerät, allein die Hälfte der gesamten Radarproduktion der USA.[691] Die Kriegsproduktion der Western Electric von 1940-44 mit 1,7 Mrd. $ mehr als der gesamte Verkaufwert aller zwischen 1870-1920 von dem Unternehmen gelieferten Produkte zusammen[692] – und dies in 5 statt in 50 Jahren.

Die Umstellung auf die Kriegsproduktion brachte für Western Electric ebenso die Verdreifachung des Personalbestandes von 32.602 im Jahr 1939 auf 90.403 in 1944 mit sich.[693]

1.3.1 BELL TELEPHONE LABORATORIES

> »The tie between the Bell Laboratories and the rest of the world was most prominent with MIT« (Hendrik Bode;1977:5/840)

Die Bell Telephone Laboratories wurden fast vollständig auf die neuen Ziele der Kriegsforschung umgestellt. Als ein nationales Zentrum der Radar-Entwicklung der USA wurden sie auch Zentrum eines Netzes intensiver persönlicher Kommunikation.

Im gleichen Maße, wie sich Western Electric auf die Kriegsproduktion einstellte, taten es die Bell Telephone Laboratories (BTL) auf Kriegsforschung und Entwicklung.

---

[682] So erfolgte z. B. auch in Großbritannien die weltweite Koordinierung des Naval Communications System in enger Kooperation mit dem Post-Office (Haines; 1947:437)
[683] ebenda:436
[684] Die anderen beiden Haupt-Funktionen waren Nachschub und Betrieb (Signal Corps; 1957:82 f.)
[685] Indem es mit OSRD- und Industrielabors zusammenarbeitete. (Signal Corps; 1957:58)
[686] ebenda: 149
[687] ebenda: 330
[688] ebenda 330
[689] ebenda: 62 f.
[690] ebenda 330
[691] Kelly (1945:224)
[692] Covette (1944/45:285 f.)
[693] »Bell System Research and Development«; Mai 1967 AAA, B.2061

Das BTL-Personal stieg von 4.600 (1939) auf 7.800 (1944)[694] auf fast das Doppelte, wobei die Zahl der Wissenschaftler und Ingenieure jedoch fast konstant blieb mit 2.377 (1944) gegenüber 2.020 in 1939. So wenig wie Western Electric sich in dieser Zeit in der Produktion in kommerzieller Nachrichtentechnik engagierte, engagierten sich auch die BTL in Forschung und Entwicklung kommerzieller Nachrichtentechnik.[695]

Kamen vom Gesamtetat von 20,4 Mio $ der BTL im Jahre 1939 erst 0,8% von militärischen Kontraktgebern, 54,4% dagegen von der Betriebsseite (AT&T) und 44,8% von der Produktionsseite (Western Electric), so hatte sich dieses Verhältnis im Jahre 1944 radikal und vollständig gewandelt. Von den 68,2 Mio. $, auf die der Etat dann (auf das Dreifache) angewachsen war, machte militärische Kontraktforschung und Entwicklung 82,1% aus. Von der Betriebsseite (die ja weiterhin kommerzielle Einnahmen brachte) kamen immerhin noch 11,8%, von der Western Electric noch ganze 6,1% für nicht-militärische F&E.[696]

Innerhalb des von der AT&T finanzierten Anteils »Forschung und Entwicklung« (Western Electric finanzierte »Entwicklung und Konstruktion«) machte der Posten »Allgemeine Forschung«, der 1939 mit 2,3 Millionen $ noch 21,3% des AT&T-Anteils am Etat der Bell Laboratories ausgemacht hatte, auf seinen Tiefpunkt, 1943, mit 800.000 $ nur noch 16,8% des AT&T-Anteils aus. Mit anderen Worten, von 1939 bis 1943 sank der Aufwand für grundlegende nichtmilitärische Forschung auf ein Drittel.

Nach dem Krieg stieg dieser Anteil ebenso schnell wieder und hatte 1949 mit 5 Mio $ und rund 33% des AT&T Beitrages zum Etat der Bell Laboratories ein erstes Maximum erreicht. In diesem Etat lag die Arbeit Shannons und anderer Mathematiker. Die Bewegungen dieses Anteils sind – was die BTL-Forschung angeht – ein guter Index für die Verlagerung des Schwergewichtes zwischen unmittelbar entwicklungsorientierter und grundlegender Forschung. Diagramm 1 zeigt dies im Zusammenhang.

[694] »Bell System Research and Development«; Mai 1967 AAA, B.2061
[695] Kelly (1945:253)
[696] »Bell System Research and Development«; Mai 1967 AAA, B.2061

DIAGRAMM 1 Aufteilung des jährlichen Forschungsetats der Bell Telephone Laboratories in Western Electric (zivil), AT&T und Western Electric (militärische Kontrakte) - finanzierte Anteile (Q.: Bell System Research and Development; 1967, AAA)

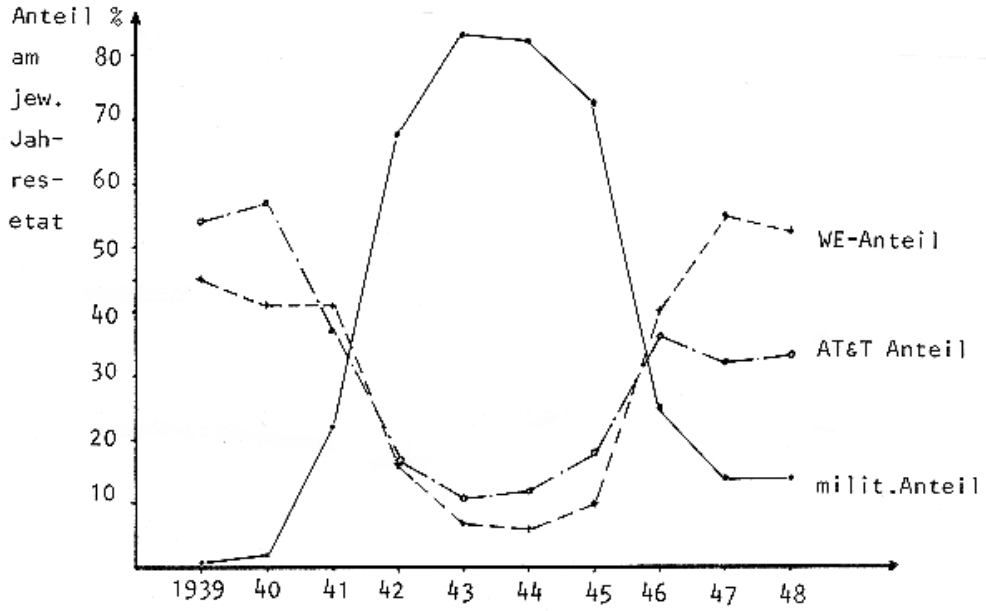
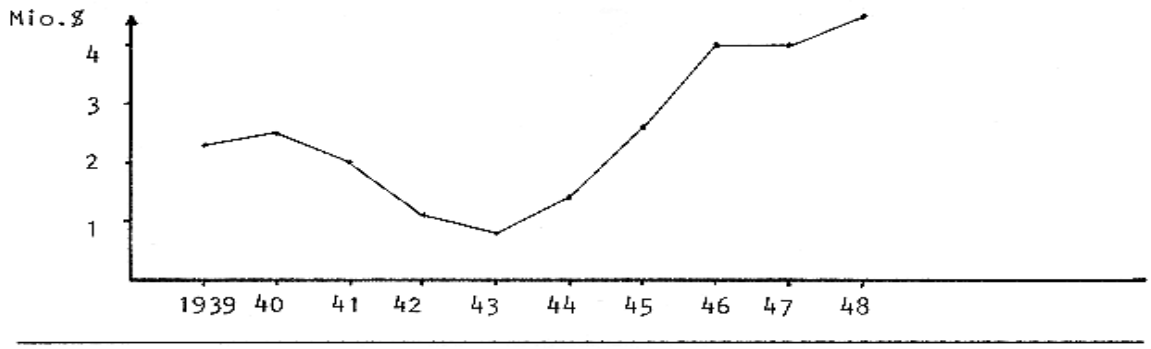


DIAGRAMM 1 Aufteilung des jährlichen Forschungsetats der Bell Telephone Laboratories in Western Electric (zivil), AT&T und Western Electric (militärische Kontrakte) – finanzierte Anteile (Q.: Bell System Research and Development; 1967, AAA)

Selten ist die abrupte Verschiebung der Forschungsprogramme, der deutliche Zerfall in drei Phasen der Forschung: bis 1941, 1941-1945 und ab 1946 so eindeutig darstellbar, wie an diesem Beispiel. Verbunden mit diesen Phasen sind Verschiebungen einer ganzen Reihe anderer Parameter der Forschung, der Technik und der Theoriebildung. Denselben Einschnitt, projiziert auf die Aktivität der BTL in grundlegender Forschung, zeigt eine Aufstellung des jährlichen Aufwandes für »General Research« im Rahmen der AT&T-Finanzierung der BTL-Forschung. Diese zeigt das folgende Diagramm 2:

DIAGRAMM 2 Jährlicher Aufwand für grundlegende Forschung in den Bell Telephone Laboratories*
(Q.: Bell System R&D; 1967, AAA)



* "General Research"-Posten des AT&T-Anteils an der BTL-Finanzierung

DIAGRAMM 2 Jährlicher Aufwand für grundlegende Forschung in den Bell Telephone Laboratories*

(Q.: BeIl System R&D; 1967, AAA)

Insgesamt wurden während des Krieges 1.200 militärische F+E-Projekte in den BTL bearbeitet.[697] Etwa 55% davon von der Army, 35% von der Navy und 10% vom OSRD in Auftrag gegeben.[698]

Im Jahr 1944 publizierten die BTL 366 Handbücher zur Erläuterung der von ihnen entwickelten Systeme, allein 200 davon waren Radartechniken gewidmet.[699] Ein Drittel der ca. 1.500 Radar-Memoranda, die das OSRD zwischen Mitte 1942 und Ende 1944 an die Alliierten schickte, kamen aus den Bell Laboratories, ein weiteres Drittel aus dem Radiation Laboratory des MIT und das restliche Drittel von allen anderen Institutionen zusammen.[700] Überhaupt machte Radar etwa die Hälfte des militärischen F+E-Aufwandes der BTL während des Krieges aus, etwa 85 Millionen Dollar.[701] Diese große Bedeutung des Radar in der Forschung und Entwicklung des BTL entsprach dessen dominierender Rolle in der Produktion der Western Electric Co. Als ein nationales Zentrum der Radar-Technologie waren die Bell Laboratories Knotenpunkt einer ungeheuer intensiven, durch die Kanäle der Kriegsforschungsorganisation gesteuerten Kommunikation: allein 1944 waren ca. 20.000 autorisierte Besucher in den BTL, 60% davon wegen der Radartechnologie. Etwa 9.000 kamen aus der Industrie, 8.500 von den Streitkräften, 1.700 über das National Defense Research Committee (NDRC)[702] und 500 von den Alliierten.

1.3.2 RADIATION LABORATORY DES MASSACHUSSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

[697] AT&T (1945:14)
[698] AT&T (1944:3)
[699] Kelly (1945:253): »In that year the Laboratories became the country 5 largest publisher of new books« – mit anderen Worten, Nachrichtentechnik als wichtigste einzelne »Kulturquelle« jenes Jahres.
[700] Kelly (1945:254)
[701] Kelly (1945:223)
[702] Kelly (1945:254)

Das Radiation Laboratory (RL) des MIT, zweites Radar-Zentrum der USA, war innerhalb kürzester Zeit zu einem Großforschungszentrum aufgebaut worden. Viele der späteren Informationstheoretiker hatten hier an der Entwicklung des Mikrowellenradar gearbeitet.

Das spätere akademische Zentrum der Informationstheorie in den USA, das Research Laboratory of Electronics (RLE) am MIT war aus der Abteilung für grundlegende Forschung des Radiation Laboratory entstanden. BTL und RL verfolgten während des Krieges koordinierte technische Entwicklungsprogramme. Es bestand engste Zusammenarbeit und ein starker Fluß persönlicher Kommunikation.

Die besondere Rolle von BTL und RLE in der Informationstheorie der fünfziger Jahre hatte eine ihrer Ursachen in der besonderen Rolle von BTL und RL in Hochfreguenz-Radar-Technologie während des Krieges.

So wie die Western Electric vor allem wegen ihrer Radarproduktion größter Auftragnehmer der Streitkräfte war, mit den Bell Telephone Laboratories als angeschlossener F+E-Einheit, so war das andere große Radarzentrum der USA, das Radiation Laboratory des MIT, der größte Auftragnehmer des OSRD.[703]

Tabelle 5 zeigt das völlig unterschiedliche Wachstum der größten Forschungs- und Entwicklungsstätten der Radartechnologie der USA in einem *Industrieunternehmen* (AT&T): die Bell Telephone Laboratories wuchsen zwischen 1940 -45 auf das 1,6-fache; und an einer *Hochschule:* das Radiation Laboratory wuchs in derselben Zeit auf das 130-fache!

TABELLE 5: Personal des Radiation Laboratory am MIT und der Bell Telephone Laboratories, 1940-45 (Q. : Bell System R&D (1967, AAA), Baxter (1946 :149), DuBridge (1946:2))

Jahr	Radiation Lab. des MIT	Bell Telephone Labs.
1940	30	4.638
1941	450	4.953
1942	1.700	6.186
1943	2.700	7.250
1944	3.300*	7.844
1945	3.900	7.198

* geschätzt

Mit der Research Construction Co. unterhielt das Radiation Laboratory eine eigene Produktionsgesellschaft, die immerhin zweitgrößter industrieller Auftragnehmer des OSRD – nach Western Electric – war.

Ausgangspunkt für die Radar-Großforschung am MIT war ein in den späten 30er Jahren unter W.L. Barrow begonnenes Forschungsprojekt in Mikrowellen und Wellenleitertechnik gewesen.[704] – Die später, 1945 am RL Arbeitenden stellten die überwiegende Mehrheit der 5.000 Mitarbeiter, die 1945 unter Kontrakten der NDRC Division 14 (Radar) insgesamt engagiert waren. Nächst größeres Zentrum nachrichtentechnischer Forschung war das »Radio Research Laboratory« der Harvard Universität, in dem im August 1944 810 Leute beschäftigt waren, davon 212 Wissenschaftler und Ingenieure.[705]

Im Radiation Laboratory waren 1943 30 verschiedene Radarprojekte in Gang.[706] Bis zum Juni des Jahres hatte man von dort 6.000 Geräte an Army und Navy geliefert, 22.000 weitere in Produktion und eine Ausstoßquote von 2.000 Geräten aller Typen pro Monat erreicht.[707] Diese Angaben lassen erken-

[703] Kelly (1945:231 f.) und Baxter (1968:456)
[704] Fisk (1963:13)
[705] Als dritte Institution spielte die Columbia University, New York eine größere Rolle. vgl. Baxter (1968:154 u. 160).
[706] DuBridge (1946:13)
[707] Baxter (1968:154)

nen, welche ungeheure Industrie entstanden war[708] – wo vordem Hochschulforschung in bescheidenen Dimensionen betrieben worden war. Jetzt waren Labors entstanden, die denen der Industrie gleichwertig waren. Und obwohl später große Teile des Radiation Laboratory wieder abgebrochen wurden, stellte es doch eine Investition dar, die nach Fortführung in der einen oder anderen Weise verlangte.

Das spätere Zentrum für Kybernetik und Informationstheorie der USA in den fünfziger Jahren – neben den BTL -, das Research Laboratory of Electronics (RLE) des MIT war im Januar 1946 aus der Division of Basic Research des Radiation Laboratory gebildet worden.[709] Das RLE übernahm die Verantwortung für die Weiterführung der grundlegenden Programmteile der Radarsparte (Div.14) des NDRC, aus der es – nach Vorüberlegungen seit 1943 – entstanden war. Finanziert wurde es anfangs durch die Streitkräfte und verwaltet vom Signal Corps der US-Army.[710] Unter den Wissenschaftlern, die dort für länger oder kürzere Zeit arbeiteten, waren Norbert Wiener, Claude Shannon, Dennis Gabor, Robert Fano, Peter Elias, Jerome Wiesner, Colin Cherry, um nur die für die Informationskonzepte wichtigsten zu nennen. Mitarbeiter des Radiation Laboratory während des Kriegs waren Informationstheoretiker wie Robert Fano, Edward Gilbert oder William Tuller gewesen.

Das Personal der zentralen Labors in der Kriegsforschung wurde über die NDRC-Kanäle aus allen Teilen der USA herangeführt. Im Radio Research Laboratory der Harvard Universität waren 1945 mehr der dann 600 Mitarbeiter von kalifornischen Institutionen als von Harvard – einschließlich des Leiters des Labors F.E. Terman (Stanford Universität). Im Radiation Laboratory des MIT waren 1946 Mitarbeiter aus 69 verschiedenen Institutionen zusammengeführt worden.[711] Bereits die 1941 am MIT für Angehörige der Streitkräfte gehaltenen Weiterbildungskurse in Hochfrequenztechnik waren von Lektoren aus 40 verschiedenen Instituten und Hochschulen der USA gehalten worden.[712]

In dieser Situation der Kriegsforschung nun, bei der Radiation Lab. und Bell Labs. die beiden Zentren der Radarentwicklung der USA waren, war es zwangsläufig, daß sich Zusammenarbeit und Koordination der Arbeiten erforderlich machten.[713] Dies geschah über das Radar-Komitee des Joint New Weapons Committee, über die Division 14 (Radar) des NDRC – in der Ralph Bown (BTL-Radio Research Director) und Mervin Kelly (BTL) Mitglieder waren und – und dies nicht zuletzt in massenhaften direkten Kontakten zwischen beiden Labors auf allen Ebenen.

Kelly sprach später von einem »spirit of comradeship and cooperation« (Kelly; 1945:234), der sich zwischen BTL und RL-Radaringenieuren und -wissenschaftlern in dieser Zeit intensiver Kontakte gebildet hatte.

> »Any day of 1944 or 1945 might have seen from five to twenty Bell Laboratories men at the Radiation Laboratory and a corresponding number from there at Bell Laboratories.« (ebd.)

Die Radartechnologie war der Kanal, über den die enge Zusammenarbeit zwischen diesen nachrichtentechnischen Großlabors einer Hochschule und eines Industrieunternehmens sich etablierte.[714]

Die später – nachdem die Radartechnologie gegenüber den Techniken kommerzieller Nachrichtentechnik weit in den Hintergrund zurückgetreten war – oft als so etwas wie ein Wunder erscheinende

---

[708] Nach dem Urteil des ehemaligen Leiters des Radiation Laboratory, DuBridge, größer als die Automobil industrie der Vorkriegszeit (DuBridge; 1946:3)
[709] Stratton (1966:1)
[710] Stratton (1966:3 f.)
[711] Baxter (1968:21 f.)
[712] Memo, »Syllabus ESMDT Course ‚Ultra High Frequency Techniques« NAA 227, OSRD, Personn., Sc.Train.; 21.11.1941
[713] wie z. B. auch zur Entwicklung des Flugabwehr-Systems aus M-9 Kommandogerät (BTL) und SCR-584 Mikrowellenradar (RL). Vgl. Fagen (1978:148)
[714] Von »extensive interchange of ideas« spricht DuBridge (1946:5), von »spirit of cooperation« und »continuous interchange of ideas and information« spricht Kelly (1946:239) – Der erste von MIT-Seite (Leiter des RL), der zweite von BTL-Seite (Forschungsdirektor).

Simultanität des Aufkommens nachrichtentheoretischer Ideen zwischen MIT und Bell Laboratories hatte eine ihrer Ursache in dieser (Zusammen)arbeit am gemeinsamen Problem der Radarentwicklung.

Was nach dem Krieg als eine Manifestation des »Zeitgeistes« erscheinen mußte, war tatsächlich das Resultat des Abbruches einer fest etablierten direkten Kommunikation innerhalb koordinierter Entwicklungsprogramme.

1.3.3 AUSBILDUNG

> »Good radiomen are more precious than nuggets in this Army. They are diamonds rated No.1 on the list of 181 shortages.« (W.V. Bingham, J. Rorty; 1942)

Das für Erforschung/Entwicklung/Produktion/Erhaltung/Betrieb nachrichtentechnischer Systeme benötigte Personal wurde in riesigen Ausbildungsprogrammen herangebildet. Hinsichtlich dieser Ausbildungsprogramme für die Absolventen traditioneller Lehrgebiete kann man von einer »Elektronisierung der Wissenschaften« sprechen, die die »Mathematisierung der Technik« ergänzte.

So wie die entscheidenden Bewegungen der Forschung während des Zweiten Weltkrieges sich am deutlichsten in den Bewegungen der Forschungsorganisation ablesen lassen, die auch für den allgemeinen Trend der Nachkriegsforschung ausschlaggebend waren, so beeinflußten die Verschiebungen in der *Ausbildung* des wissenschaftlich/technischen *Nachwuchses* während des Krieges direkt die inhaltliche Richtung der Nachkriegsforschung.

Zwei grundsätzliche Trends liefen dabei gleichzeitig ab:

-der Rückgang von Ausbildung und wissenschaftlicher Forschung in den klassischen Wissenschaften

-die Zunahme von Ausbildung und Forschung in Funktechnik, Elektronik und angewandter Mathematik.

Diese Verschiebungen in der Ausbildung waren nicht allein mit der Forschung, sondern auch mit den Funktionen Nutzung (Betrieb), Entwicklung und Produktion der technischen Systeme verbunden. Um die »Elektronisierung« der Kriegstechnik in umfassender Weise durchsetzen zu können, mußte eine »Elektronisierung« der Ausbildung folgen:

> »The techniques involved, new to the Army, had no commercial application; the equipment no commercial counterpart. Consequently, no military or civilian sources of skill had been built up.« (Signal Corps; 1957:45)

Die herkömmlichen Universitäts- und College-Einrichtungen und Kurse waren in keiner Weise geeignet, die notwendige Ausbildung – die *Umbildung* – zu leisten. Der Chef des OSRD, Vannevar Bush, äußerte 1942 in einem Brief an F.J. Kelly vom Washingtoner Koordinationsbüro für Ausbildung seine entsorechenden Sorgen über die

> »total inadequacy of the normal educational facilities to meet the wartime need of trained technical men«. (Bush an Kelly; 2.4.1942) [715]

Die Umstellung von Ausbildung und Forschung an den Universitäten und Hochschulen war der einheitliche Hintergrund für die beiden gegenläufigen Trends.

---

[715] NAA 227, OSRD, Personn., Sc.Train.

Für alle Funktionen des neuen Gebietes der Radartechnik, für *Forschung* und *Entwicklung*, für *Konstruktion* und *Produktion* und für *Nutzung* und *Erhaltung* brauchte man im Prinzip genau dieselben Leute[716] – vor allem in Hochfrequenztechnik ausgebildete Ingenieure. Von den etwa 21.000 zwischen 1932 und 1942 graduierten Elektrotechnikern hatte nur ein kleiner Teil die entsprechenden neuen Kurse belegt gehabt:

> »This unknown fraction constituted the nations main supply of man power for the commercial and military research in electronics, for the production of equipment, and – this being the vital necessity to the Army – for the intelligent use of radar in the war.« (Signal Corps; 1957:45)

So benötigte z. B. die Army Air Force bis Februar 1942 53.000 Radarleute, eine Forderung, die später noch erhöht wurde.[717] Das US-Western Defense Command hatte z. B. für 88 Radar-Gruppen nur einen einzigen »maintenance man« zum Anfang 1942.[718]

Ein groß angelegtes Personal-Such- und Ausbildungsprogramm mußte anlaufen.[719] In dessen Verlauf wurden Vertreter nahezu aller exakten Bereiche aus Wissenschaft und Technik mit Radarproblemen vertraut, neben Physikern, Mathematikern, Ingenieuren auch Chemiker und Biologen.[720] Während die wissenschaftliche Ausbildung selbst an den Hochschulen fast zum Erliegen kam, füllten sich Radar- und andere Kurse über Wartung und Betrieb elektronischer Geräte.

Insgesamt waren 440 verschiedene Universitäten und Colleges am militärischen Trainingsprogramm in den USA beteiligt.

Im Herbst 1943 (1. Oktober) waren insgesamt 276.821 Männer trainiert worden. Die Zahlen der in Funk- und Radartechnik trainierten Offiziere während des ganzen Krieges gibt Tabelle 6.

TABELLE 6 Funk- und Radartraining von US-Offizieren während des Zweiten Weltkrieges (Q.: Fett; 1946:481)

Army Specialized Training Program (21 Monate)	1.329 Mann
Navy College Training Program (8 Terms)	3.029 Mann
Radar Schools	
Army	2.573 Mann
Navy	4.860 Mann
Radio Engineer Schools	
Air Forces	8.196 Mann
Gesamt	19.987 Mann

Über die Qualität dieser Ausbildung berichtete ein Instrukteur einer dieser Kurse:

> »While the training covered many of the essentials of electrical engineering, the short time available did not permit the development of a technically disciplined thinking.« (Fett; 1946:481)

Der letzte Teil dieser Bemerkung ist insofern bemerkenswert, da er sich mit einer Vielzahl von Kritiken deckt, die später, Ende der 50'er Jahre an vielen Abhandlungen aus der Frühzeit der Informations-

[716] Deren Verteilung zwischen diesen um sie konkurrierenden Bereichen war eine der schwierigsten Fragen des technischen Krieges. Vgl. Baxter (1968: 127) und Signal Corps (1957:38)
[717] Signal Corps (1957:40 f.)
[718] ebenda: 42
[719] Baxter (1968:160 f.)
[720] »Quotas in military training program« in Am.Math.Monthly, vol.51; 1944: 174

theorie in den frühen Fünfzigern wegen deren emphatischer und unkontrollierter Verallgemeinerungen und Schlußfolgerungen. Allgemein erreicht jedoch die Ausbildung entsprechender Techniker und Operateure »tremendous numbers« (Fett; 1946:482). Deren Zahlen sind in Tabelle 7 wiedergegeben.

Alles in allem mithin mehr als eine halbe Million von Leuten, die mit den Grundbegriffen der Nachrichtentechnik vertraut gemacht worden waren und nach dem Krieg als Techniker für die Industrie von Interesse sein würden.[721] Sie sollten zum Teil nach dem Krieg ermutigt werden, formale Ingenieurausbildungen aufzunehmen. Die Zahlen geben eine eindrucksvolle Vorstellung von den ungeheuren Verschiebungen, die während des Krieges die Voraussetzungen für weitere Ausbildungen nach dem Krieg geschaffen hatten. In dieser Hinsicht war der Krieg in der Tat so etwas wie eine »Schule der Nation«.

TABELLE 7 Nachrichtentechnische Ausbildung von Technikern und Betriebspersonal während des Zweiten Weltkrieges in den USA (Q.: Fett; 1946:482)

Ausbildungsprogramm	Kurse	Anzahl der Absolventen
Engineering, Science and Management War Training (ESMWT)	Nachrichtentechnik	126.278
	Elektronik	59.755
	Elektrizität & Magnetismus	22.726
		208.759
Army Service Forces School	Funkmechaniker (basic)	25.940
	Funkoperateure (code)	34.190
	Funkmechaniker (air equipm.)	2.335
	Funkmechaniker (fixed stat.)	776
	Funkmechaniker (Hochfrequenz)	248
		63.489
Army Air Force Schools	Funkmechaniker	41.084
	Funkoperateure	156.246
	Radarmechaniker	41.084
	Radaroperateure	11.743
		250.157
Insgesamt mehr als eine halbe Million*		

* Das exakte Addieren wäre inkorrekt, da sich die Zahlen zum geringen Teil überlappen

Von den 26 amerikanischen Autoren, die 1956 in der Fachzeitschrift für Informationstheorie (IRE Transactions on Information Theory) veröffentlicht hatten,[722] waren 12 älter als 32 Jahre. Diese waren während des Krieges von Kriegsforschung (3: Kryptografie, Operationsforschung im Problemkomplex der Feuerleitung, Funktechnik) und in Elektronik und Radarbetrieb der Navy (6) und von Army und Air Force (3) geprägt worden. Edward Gilbert und David Slepian z. B., zwei der führenden Informationstheoretiker der 50'er und 60'er Jahre (BTL) waren Physiker, die während des Krieges mit angewandter Mathematik im Radiation Laboratory des MIT bzw. mit Elektronik und Funktechnik im Signal Corps der Army in Berührung gekommen waren.

Idealtypisch in diesem Sinne ist die Biographie von einem der wichtigsten Informationstheoretiker der 50'er/60'er Jahre, Peter Elias, der sich erinnerte, nach dem Beginn des Ökonomie-Studiums durch den Krieg in eine andere Richtung gelenkt worden zu sein:

> »Since it was clear, I would be going into the armed forces, as soon as I graduated, I took a course, given in electronics for the people who were about to go into the Army.
>
> And then I went into the Navy as an electronics technician. I took almost a year at school in that program. All of the people of my generation who had any kind of technical interest, no matter

[721] Darauf weist Fett (1946) in seiner Untersuchung hin

[722] in vol.IT-2 No.1,2 und 4; 1956 ohne den Kongressbericht in IT-2,3.

what it was, when they went into the Army or the Navy, they all became electronics technicians or radar officers.« (Elias; 1977:1/10)

Die Ausbildungen fanden in den zivilen Hochschulen und Colleges statt,

»which the war was emptying of students« (Signal Corps; 1957:41)

- dort vor allem konzentriert an den elektrotechnischen Departments der großen Technischen Hochschulen in den USA.

Ebenso waren in den USA auch Industrieunternehmen in der Ausbildung engagiert, deren Aktivitäten nahe bei den verlangten Fähigkeiten der Auszubildenden lagen.[723] Darüber hinaus war es aber unumgänglich, daß spezielle Ausbildungszentren geschaffen wurden, in denen Trainingsgeräte und Instrukteure konzentriert waren.[724]

Das Radartraining hing noch eine geraume Zeit von Kursen in Großbritannien ab (bis 1943 waren 2.000 Mann des Signal Corps in Großbritannien ausgebildet worden)[725], bis ähnliche Kurse dann am MIT und in geringerem Maße am Cruft Laboratory der Harvard Universität eingerichtet wurden.[726]

Als ein Resultat dieser Entwicklung nachrichtentechnischer Ausbildungsprogramme wuchs die Zahl der Mitglieder der beiden großen Elektroingenieursvereinigungen der USA rapide an. Dabei machte die spezielle Organisation der Funkingenieure, Institution of Radio Engineers (IRE), ein entsprechend schnelleres Wachstum durch als die Organisation von Elektrotechnikern generell, das American Institute of Electrical Engineers (AIEE)! Dies reflektiert den überproportionalen Bedeutungszuwachs, den Elektronik und Funktechnik im Zweiten Weltkrieg erfuhren.

In Tabelle 8 sind die Mitgliederzahlen von IRE und AIEE gegenübergestellt.

[723] So wurden beispielsweise zwischen 1941 und 1943 8.000 Angehörige der Streitkräfte im Bell System im Fernmeldewesen trainiert. (AT&T; 1943:6)
[724] Wie das Ausbildungszentrum des Signal Corps in Fort Monmouth (Signal Corps 1957:47)
[725] Baxter (1968:123)
[726] Signal Corps (1957:56 f.)

TABELLE 8 Mitgliederzahlen der großen amerikanischen Elektroingenieurvereinigungen 1920-55

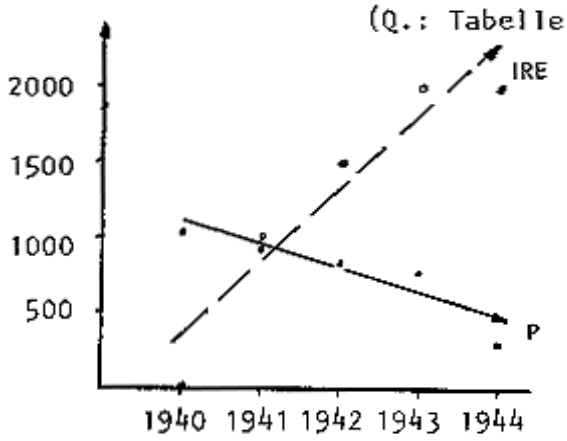
(Q.: Whittemore (1962:534) und AIEE-Report (1945:254) Hickernell (1959:729))

Jahr	Institution of Radio Engineers	American Inst.of Electric.Eng.
1920	2.000	11.300
1925	2.500	17.300
1930	7.000	18.000
1935	5.000	14.300
1940	6.000	17.200
1945	15.000	21.100
1950	28.000	35.000
1955	47.000	48.000

Um die beiden Trends in *wissenschaftlicher Forschung* und *nachrichtentechnischer Aktivität* direkt miteinander vergleichen zu können, sind in Diagramm 3 die Promotionszahlen in Chemie+Physik+Mathematik Ingenieurwesen dem jährlichen Mitgliederzuwachs[727] der Institution of Radio Engineers für 1940-44 gegenübergestellt.[728]

DIAGRAMM 3: Jährliche Zahl der Promotionen in Chemie, Physik, Mathematik und Ingenieurwesen und Zahl der jährlichen Neuzugänge in die Institution of Radio Engineers, 1940-44

(Q.: Tabelle 4 und Whittemore (1962))



Da die formalen Qualifikationen sanken, die IRE Mitgliedschaft aber zunahm, konnte dies nur durch überproportionales Wachstum in den unteren Klassen des Mitgliederstatus erreicht werden. Waren noch 1936 nur 5,7% der IRE-Mitglieder Studenten und Assoziierte ohne Stimmrecht, so bildeten IRE-Mitglieder dieser Gruppe nach dem Boom der Kriegsausbildung 1946 mehr als 2/3 der gesamten Mitgliedschaft, nämlich 66,8%!

Die IRE nahm also zu einem beträchtlichen Teil die Techniker und Operateure nachrichtentechnischer Anlagen auf, die während des Krieges eine kurze, intensive, aber nicht vollständige Ingenieurausbil-

[727] Die Zahl der jährlichen Promotionen ist – im Gegensatz zu der einfachen Zahl der Mitglieder einer Organisation – ein Zuwachsindex

[728] Die Werte wurden aus Diagrammen entnommen und sind etwa um +/- 10 Promotionen und +/- 100 IRE-Neuzugänge fehlerhaft. Die Trends bleiben aber in jedem Fall bestehen.

dung in diesen Bereichen erhalten hatten.[729] Da sich die Informationstheorie innerhalb der IRE nach dem Krieg formal organisierte, da diese deren Kongresse veranstaltete und die Mitgliedschaft in der Professional Group on Information Theory sich aus ihr rekrutierte in den fünfziger Jahren, ist dieser Trend von entscheidender Bedeutung für die Resonanz, auf die die Informationstheorie traf wie auch für das – später gelegentlich belächelte oder kritisierte – Niveau mancher Diskussionen.

Nach dem Krieg baute sich dieser Berg der großen Menge der weniger qualifizierten IRE-Mitglieder wieder ab, wie Tabelle 9 zeigt:

TABELLE 9 Zusammensetzung der IRE-Mitgliedschaft 1936-61

(Q.: Whittemore; 1962)

Jahr	IRE-Mitglieder	davon: Stud.u.Assoz.ohne Stimme	%
1936	5.195	299	5,7
1946	18.154	12.142	66,8
1956	55.494	28.875	52,0
1961	96.551	32.733	33,9

Dem im Trend überall ähnlichen Zuwachs an Personal in den verschiedenen Funktionen in Entwicklung und Nutzung nachrichtentechnischer Systeme konnte sich selbst die katholische Kirche nicht entziehen. In einer apostolischen Breve vom 12.1.1951 ernannte Papst Pius XII den »heiligen Erzengel Gabriel zum himmlischen Patron des Fernmeldewesens und all derer, die darin tätig sind« (Müller-Fischer; 1959:80).

1.4. MATHEMATISCHE FORSCHUNG IN DER FERNMELDETECHNIK: BELL TELEPHONE LABORATORIES, MATHEMATICAL RESEARCH

In seiner Art einziges Vorbild für die Organisation der Mathematik in der Kriegsforschung (AMP) – einem Forschungskomplex, der sich mit technischen wie auch operativen Problemen zu befassen hatte – war die Gruppe für mathematische Forschung in den Bell Telephone Laboratories. Sie war gleichzeitig einer der wichtigsten Partner mathematischer Kriegsforschung in der Industrie.

Als Mitarbeiter dieser Gruppe seit 1940/41 entwickelte Claude Shannon in deren Umfeld und im Zusammenhang mit Aufträgen der Kriegsforschung seine Informationstheorie, Kollegen von ihm in dieser Gruppe waren nach 1948 unter den ersten, die weitere wichtige Beiträge in dem neuen Feld leisteten.

In der paradigmatischen Sammlung von »Key Papers in the Development of Information Theory« (Slepian; 1974) sind von 10 Papieren, die für 1948-1956 verzeichnet sind, 6 allein von 3 Autoren der Gruppe für Mathematische Forschung der Bell Laboratories (4 allein von Shannon) und 3 weitere Papiere von 3 Autoren des MIT.

Diese Gruppe war nicht nur von großer Bedeutung für die Entstehung der Informationstheorie, sondern auch für deren weitere Entwicklung. Für die Bildung von Nachrichtentheorien war es entscheidend, daß die Nachrichtentechnik ihre Mathematischen Modelle nicht mehr ausschließlich über die

[729] Auch Norbert Wiener beschwerte sich in seiner Autobiografie über die jungen Leute, die seit dem zweiten Weltkrieg mit einem »Minimum an Ausbildung, Fähigkeiten, Arbeitseifer« in die Forschung gekommen wären, »Abenteurer«, die am »Zusammenbruch der Moral in der Wissenschaft«, der seitdem stattgefunden habe, teil hatten (Wiener; »Ich und die Kybernetik«: 227 f.).

Vermittlung durch die Physik bezog, aufhörte, ein »angewandtes« Gebiet der Physik zu sein.[730] Die Institution einer autonomen Gruppe für Mathematische Forschung in den Bell Laboratories war bis zum Zweiten Weltkrieg das institutionelle Tor für den Einfluß nichtphysikalischer mathematischer Modelle auf die Nachrichtentechnik. Sie war die Folgeinstitution für die Fortsetzung der Arbeiten, die Nyquist und Hartley Ende der zwanziger Jahre in anderen Forschungszusammenhängen hervorgebracht hatten.

Es lohnt sich, dieses erste Beispiel der Organisation mathematischer Forschung in der Industrie näher zu untersuchen.

1.4.1 EINFLÜSSE AUF DIE MATHEMATIK IN DER KRIEGSFORSCHUNG

Es gab direkte Einflüsse von der Organisation mathematischer Forschung in den Bell Laboratories auf die Organisation der Mathematik in der Kriegsforschung.

Einen der ersten Vorträge zu seiner Informationstheorie hatte Claude Shannon im März 1947 im Colloquium für Angewandte Mathematik der Browna University gehalten.[731] Zwischen dem Brown-Mathematik Department und der Mathematik in den BTL hatte sich traditionell eine engere Zusammenarbeit eingestellt.[732]

Verfolgt man einmal den Weg der Angewandten Mathematik in der Brown University kurz zurück, so findet sie sich während des Krieges in AMP-Kontrakten mit einer Gruppe für Angewandte Mathematik engagiert. Wie der Chef dieser Gruppe, D. Richardson 1943 feststellte, war der »immediate stimulus« (Richardson; 1943:420) für die Bildung einer 12-Wochen-Sommer-Schule in Angewandter Mathematik und theoretischer Mechanik die 1941 in einem Report des National Research Council publizierte Analyse von Thornton Fry über die Leistungen der Mathematik in der Industrie – anhand seiner Erfahrungen mit der von ihm begründeten und (bis 1944) geleiteten Gruppe für Mathematische Forschung in den BTL.

Dieser Report, der offizielles Dokument des Kongresses war,[733]

> »has had wide circulation and has evoked strong expressions of approval« (Richardson; 1943:415).

Für die Auswertung der mit dieser Schule gemachten Erfahrungen – deren Gründung wie bemerkt entscheidend von der Fry-Analyse beeinflußt worden war – wurde ein Komitee eingesetzt (1941), dem u.a. Marston Morse[734] vom Institute for Advanced Study, Warren Weaver von der Rockefeller Foundation – beide 1 Jahr später in der Leitung des Applied Mathematics Panel –, von Karman vom California Institute of Technologie[735] und Mervin Kelly, Leiter der BTL-Forschung angehörten.

Dieses Komitee kam 1941 in einem Bericht zu dem Schluß, daß »something striking and forceful« (Richardson; 1943 :69) getan werden müsse, um die Situation angewandter Mathematik in den USA zu verbessern.

---

[730] vgl. Teil
[731] vergl. Tabelle 2
[732] H.Bode (1977:3/70) und Notiz in BRL; März 1944:344, »Advanced Course in Mathematics at Brown University.«
[733] Richardson (1943a:68)
[734] Präsident der American Mathematical Society
[735] Europäischer Emigrant. Direktor des Aeronautics Laboratory.

Dieser Bericht war mit Sicherheit von Einfluß auf die Bildung des Applied Mathematics Panel, zwei Mitglieder des Komitees wurden in die Leitung des AMP berufen, Thornton Fry wurde (einziger) Stellvertreter Weavers.[736]

In einer Erwiderung auf Angriffe seitens Teilen der mathematischen Community außerhalb der Kriegsforschung, die sich in dieser weder hinreichend vertreten noch bei deren Zustandekommen hinreichend konsultiert sah, rechtfertigte Weaver die besondere Rolle Fry's im AMP.[737]

> »in administrative experience, in getting done the sort of thing we have to do (...) I rate him very high.« (Weaver; 1943:3)

Wie an anderen Stellen des NDRC[738] floß auch hier administrative Erfahrung vom Bell System in den AMP direkt ein. Ebenfalls war Fry im Beratungsausschuß für die Brown-Sommerschule in Angewandter Mathematik[739] wie auch Mitherausgeber der 1943 mit dem Erscheinen beginnenden »Quarterly of Applied Mathematics«.

Zu den Gastlektoren dieser Schule gehörten Mitglieder der Gruppe für Mathematische Forschung der BTL (S.A. Schelkunoff, 1942) und auch z. B. Leon Brillouin (1943 über Thermodynamik) – der nach dem Krieg die physikalischen Implikationen der Informationstheorie untersuchte. Und schließlich - hier schließt sich der Kreis – 1947 auch Shannon.

1.4.2 DER BESONDERE CHARAKTER MATHEMATISCHER FORSCHUNG

Die organisatorische Einbindung mathematischer Forschung bedeutete die Integration von Außenseitern in der industriellen Forschung. Wegen der Natur der Sache mußten dabei besondere organisatorische Bedingungen gelten.

Die Besonderheiten der Organisation mathematischer Forschung in einer auf konkrete extern determinierte Entwicklungsprogramme festgelegten Organisation tauchten hier das erstemal auf. Sie erforderten danach überall ähnliche Strukturen von deren Einbindung – sei es bei der Rolle des Applied Mathematics Panel innerhalb des NDRC – oder sei es für die Tätigkeit des einzelnen mathematischen Analytikers, der den Streitkräften zugeordnet war: sollte die Mathematische Forschung ihre erste Funktion der Assistenz und Beratung erfüllen, mußte sie frei beweglich innerhalb der[740] sie umgebenden Hierarchien sein.

Dies ist eine Folge der besonderen Natur der mathematischen Beratung, deren Aufgabe es zunächst war,

> »to furnish expert advice regarding the mathematical phases of the investigations carried on in the laboratories« (Fry, 1925:15)

Das heißt, sie mußte sich an mathematischen Strukturen quer zu den einzelnen Sachgebieten – seien es Projekte oder Abteilungen orientieren. Derart wenig an technischen Problembereichen per se ausgerichtet, war die Mathematik die

---

[736] Weaver und Fry waren alte Freunde aus der Studienzeit an der Univ.of Wisconsin (Weaver; 1943:3, NAA 9) und Fry (1977/2:985)
[737] in NAA 9
[738] So wurde z. B. die Personalplanung des NDRC mit dem »Register of Scientific Staff« auf Jewetts Rat hin nach BTL-Muster abgewickelt (G.W. Bailey; 1941:8, NAA 21)
[739] Richardson (1943a: 69)
[740] S.S.Cairns berichtete über seine 20-monatige Tätigkeit als mathematischer Consultant des Army Air Forces Board in Orlando. Er schilderte dort die besonderen Probleme der Operation innerhalb militärischer Strukturen (NAA 54:14 ff.)

»discipline which is least concerned with things or profits and most dedicated to ideas for their own sake.« (Fry; 1963:935 f.),

weshalb auch die Feststellung galt, die

»interests of mathematics and industry are almost antithetical« (Fry; 1963:936).

Dies waren nicht nur Charakteristika des Gebietes, sondern ebenso und damit verbunden Attituden der Mathematiker, über deren reinste Spielart der BTL-Theoretiker Carson (Eddington zitierend) feststellte:

»A pure Mathematician is never so happy as when he doesn't know what he is talking about.« (Carson; 1936:398)

Auf diese besondere Attitude des Mathematikers ging Fry in seinem oben bereits erwähnten einflußreichen Report von 1941 ausführlich ein und leitete aus ihr die besondere Funktion und Form der organisatorischen Einbettung der Mathematischen Forschung ab:

»The typical mathematician ... is not the sort of man to carry on an industrial project. He is a dreamer, not much interested in things or the dollars they can be sold for. He is a perfectionist, unwilling to compromise; idealizes to the point of impracticality; is so concerned with the broad horizon that he cannot keep his eye on the ball As mathematicians their place in industry is not to supply the infinite attention to practical detail by which good products, convenient services, and efficient processes are devised; their function is to give counsel and assistance to those who do supply these things.

In other words, the mathematician in industry, to the extent to which he functions as a mathematician, is a consultant, not a project man.« (Fry; 1941:258)

Wegen dieser Charakteristika des Mathematikers, dessen sinnvoller Einsatz erst den Einsatz anderer Wissenschaftler und Ingenieure in der Forschung voraussetzte, war der von Fry festgestellte Gegensatz zwischen der Allgegenwart der Benutzung *mathematischer Methoden* und der weitgehenden Abwesenheit von *Mathematikern* in der Industrie[741] nicht verwunderlich. Er schätzte (um 1938) die Gesamtzahl der Mathematiker in der Industrie auf etwa 150 : ca. 30 im gesamten Bell System (davon 14 in der Abteilung für Mathematische Forschung und ca. weitere 15 an anderer Stelle in den Bell Laboratories), 10 – 20 in der gesamten restlichen nachrichtentechnischen Industrie, etwa je 20 in Energietechnik, Erdölindustrie und im Flugzeugbau![742]

Als separate administrative Einheiten waren sie zu dieser Zeit jedoch noch nirgendwo sonst organisiert.[743]

Gerade dies war jedoch der entscheidende Punkt.

Da der ideale industrielle Mathematiker, nach Fry, auch Interesse an »physical things« haben sollte, möglichst neben seinem Ph.D. in Mathematik einen technischen Master-Grad (wie die BTL-Mathematiker Bode, Schelkunoff, MacMillan oder Shannon), bestünde leicht die Gefahr, daß der Druck der täglichen Probleme dazu zwänge, daß aus einem guten Mathematiker ein mittelmäßiger Ingenieur gemacht werde – womit keinem gedient sei (Fry; 1963:936). Da in der Industrieforschung

[741] Fry (1941:255)
[742] Fry (1941:282 f.) und Fry (1964:934)
[743] Fry (1941:262)

> »the urgent job always tends to take precedence over the important one. Left to themselves fundamental studies give way to the detailed development, which ought to go into production next month´ (Fry; 1941:261)

Aus diesem Grunde war die Zentralisierung und institutionelle Separierung der Mathematiker eine Notwendigkeit: die Motivierung exzellenter Mitarbeiter war leichter und die Störanfälligkeit der mathematischen Konsultationsfunktion wurde vermindert.

So entstand eine zentrale *Gruppe von Mathematikern,* die zunächst »primarily a consulting organization« (Fry; 1925:15) war.

Ihre Mitglieder sollten hinsichtlich der Freiheit aller anderen, sie zu konsultieren, und ihrer Freiheit, allen ihre Beratungsdienste geben zu können, in ihren Arbeitsbedingungen

> »on the same basis as the free-lance investigators who are to be found in most large research laboratories, and who are generally known as staff engineers« (Fry; 1941:261)

sein.

Die Gruppe, »always had a license to work on what it pleased« (Bode; 1977: 5/640). Die wesentlichen formalen Bedingungen dafür nannte Fry in seinem Report:

-keine Verpflichtung für andere Forscher, die Gruppe zu konsultieren,

-keine speziellen Arbeitsaufträge mit irgendwelchen Prioritäten,

-keine formalen Routinen waren von anderen zu absolvieren, um die Dienste der Gruppe in Anspruch zu nehmen,

-keine Notwendigkeit abschließender Berichte,

-möglichst keinerlei Verantwortung für die Durchführung spezieller technischer Projekte,

-weite Verteilung der Finanzierung über viele Aktivitäten der Laboratories.

Dies stellte ein ziemlich revolutionäres Konzept in industrieller Forschung dar, einziges mögliches Vorbild war das »Consulting Engineering Department« des Forschungslabors der General Electric, das 1910 auf Anregung des bereits erwähnten Mathematikers Steinmetz gegründet worden war und bis 1923 unter dessen Leitung stand.[744] Dieses war als ähnliche »interdisziplinäre« Beratungsinstitution quer zu den andern Strukturen von F+E 1912 von Steinmetz konzipiert worden – jedoch nicht auf der Ebene der mathematischen Methode, sondern allgemeiner technischer Probleme.

Voraussetzung für die Funktion einer derart freigestellten Gruppe war die bestmögliche Auswahl der Mitarbeiter, die Engagierung der bestqualifizierten erreichbaren Leute.

Dieses hieß auf der einen Seite – für deren Motivierung war die Zusammenfassung ähnlich arbeitender und interessierter Kollegen eine notwendige Voraussetzung – andererseits erleichterte gerade dieses die Eigendynamik, von der bloßen Konsultation in Richtung eigenständiger theoretischer Forschung – wie sie ebenso im Applied Mathematics Panel in mathematischer Kriegsforschung ablief.

1,4.3 ÜBERGANG VON DIENSTLEISTUNG ZU THEORETISCHER FORSCHUNG

[744] Brittain (1976:1413 f.)

> Mit der Zeit gewann das Konzept separater mathematischer Forschung an Eigendynamik; aus der Beratungstätigkeit wurde theoretische Forschung.

Thornton Fry war 1916 von H.D. Arnold, dem Leiter der Forschung der Western Electric als »mathematical assistant« (Fry; 1977:2/37) engagiert worden, um bei numerischen Berechnungen und der Lösung mathematischer Probleme zu helfen.

Er war seit 1912 in der mathematischen Fakultät der University of Wisconsin, »teaching in the staff which taught engineers« (Fry; 1977:1/430) – er war dort unter anderem einer der Lehrer Warren Weavers![745] Beide kannten sich seit dieser Zeit und Fry bot Weaver nach dessen Graduierung zunächst eine Mitarbeit in den BeIl Laboratories an.[746]

Die Universität von Wisconsin war – neben dem MIT – die einzige amerikanische Hochschule gewesen, die eine gewisse Tradition in technisch angewandter Mathematik entwickelt hatte.[747] Kein Zufall, daß Mathematiker dieser beiden Hochschulen bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges entscheidende Rollen in der Angewandten Mathematik spielen sollten:

Fry als Leiter der mathematischen Forschung des BTL, Weaver als Leiter der mathematischen Kriegsforschung im AMP, Claude Shannon und Norbert Wiener.[748]

Fry entwickelte in der Forschungsabteilung der Western Electric (später BTL) jedoch weitergehende Ambitionen, die mathematische Dienstleistung auf ein prinzipielleres Niveau zu stellen –

> »what Arnold had in mind, was not what eventually happened« (Fry; 1977:2/77)

Anfang der zwanziger Jahre wies er in einem Memorandum auf die Zersplitterung von mathematischen Dienstleistungen, vor allem in numerischen Berechnungen, hin und schlug deren Zusammenfassung vor. 1922 wurde er zum Leiter einer kleinen Gruppe für »Mathematical Research« bestellt, der außer ihm lediglich 5 technische Kräfte angehörten, die aber Arnold direkt unterstand.[749]

Oft waren zu Beginn die mathematischen Probleme, zu deren Lösung er herangezogen wurde, innerhalb kurzer Telefongespräche von ihm zu klären, tendierten jedoch dazu, schwieriger zu werden.[750]

Bei dieser Art der Tätigkeit, die sich stets nur auf Teilaspekte anderer Forschungen bezog, war es 1925 – als das Verhältnis von Wissenschaftlern zu technischen Kräften der Abteilung noch immer 1:5 war – schwierig, im Zusammenhang die genaue Leistung Fry's und seiner Gruppe anzugeben:

> »Examples which would give a clear idea of the product of the Mathematical Research Department are difficult to find, since most of its work is of a consulting character and deals with fragmentary phases of the subjects involved.« (Fry; 1925:17).

Nur ganz selten war es zu dieser Zeit der Fall, daß die mathematische Theorie als solche weiterentwickelt werden mußte.[751] Vielmehr sollte zunächst in diesem Zusammenhang noch zwischen »the using of tools and the making of tools« (Campbell; 1924:555) unterschieden werden. Bald jedoch erweiterten sich die Aktivitäten rapide.

---

[745] Weaver (1977:1/582)
[746] die dieser jedoch ablehnte, weil er »in love with the university« (ebd.) war
[747] Richardson (1943a:69)
[748] Das MIT Mathematik Department war ebenfalls zu Zeiten von Wiener's Eintritt zu Beginn der zwanziger Jahre eine reine Service-Einheit von keinem besonderen Ruf in der mathematischen Welt (Rosenblith, Wiesner; 1966:34 und Levinson; 1966:13)gewesen.
[749] Western Electric Company, Engineering Department, Organisation of assistant Chief Engineer, Physical Research Department. OrganisationsKarte; 10.11.1922, BAA
[750] Fry (1977:1/650)
[751] Fry (1925:15)

Neue Wissenschaftler wurden eingestellt, deren Zahl 1929 erstmals die des technischen Personals überstieg![752]

Diagramm 4 zeigt die zahlenmäßige Entwicklung der Gruppe, die von Beginn an hoch genug in der Hierarchie angesiedelt gewesen war, um stabiles Wachstum zu erlauben: Von 1922 bis 1933 und von 1937 bis 1944 als Teil der Abteilung für »Transmission-« bzw. »Circuit Research«; von 1934 -1936 und 1944-51 als Teil der »Physical Research« Abteilung – ab 1952 dann als eigenständiges »Mathematical Research Department«.

Der erste weitere Wissenschaftler nach Fry war L.A. MacColl, der aus einer anderen Gruppe (von Hartleys »Transmission Research«-Abteilung) 1928 hinzukam; 1929 kamen H. Bode und S. Schelkunoff und 1930 George Stibitz – die sich vor allem durch ihre Arbeiten in Netzwerktheorie, Theorie der Wellenleiter bzw. der Entwicklung digitaler Computer hervortaten.

DIAGRAMM 4 Zahlenmäßige Entwicklung der Gruppe für Mathematische Forschung und Beratung der Bell Telephone Laboratories in technischem (T) und wissenschaftlichem (W) Personal. 1922 - 1948 (Q.: Personalliste, BAA)

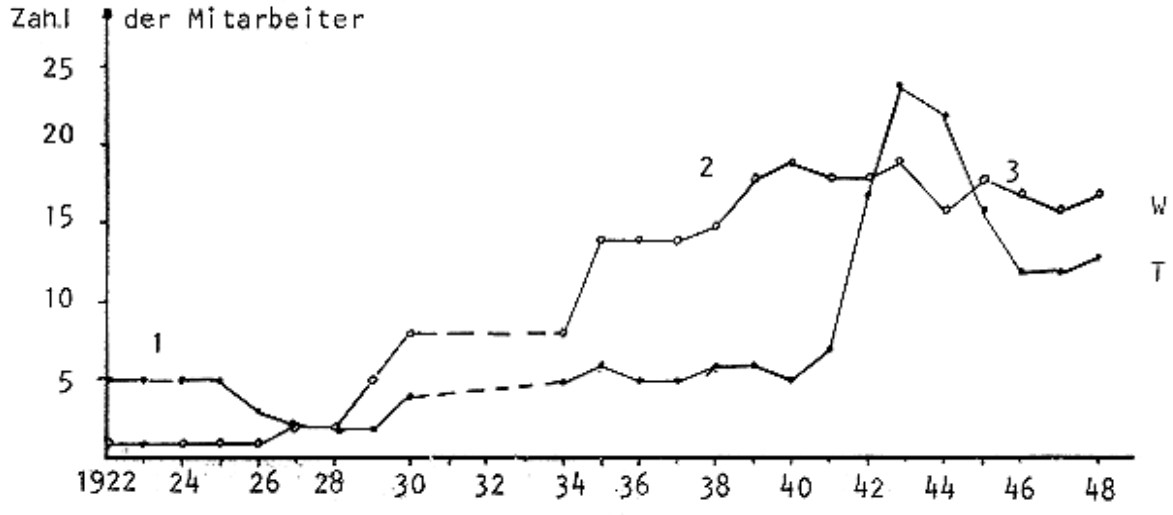


DIAGRAMM 4 Zahlenmäßige Entwicklung der Gruppe für Mathematische Forschung und Beratung der Bell Telephone Laboratories in technischem (T) und wissenschaftlichem (W) Personal. 1922 -1948
(Q.: Personalliste, BAA)

Im Diagramm sind die Zeitpunkte vermerkt, zu denen die jeweiligen Hauptaufgaben als Beratung (1)[753], Erstellung »positiver« und »negativer« Analysen und leitender Theorien (2)[754] und »reorganizing the area and defining a research program« (Bode; 22.1.1963:2)[755](3) angegeben wurden! Diese 3 Phasen entsprechen zwei deutlich verschiedenen Verhältnissen des wissenschaftlichen zum technischen Personal.

[752] 151 Personalliste der Mathematics Research-Gruppe; 1922-1956, BAA 152 Fry (1925:15 ff.)
[753] Fry (1925:15 ff.)
[754] siehe 158)
[755] Interview mit L. Barnett, AAA

Zwischen 1931 und 1933, als in der Weltwirtschaftskrise das Personal der BTL um 1/3 gekürzt wurde und dies möglichst gleichmäßig über die verschiedenen Abteilungen verteilt wurde, zeigte sich die neue Bedeutung der Gruppe für grundlegende Forschung:

> »a conference of department heads was held in which these selections were discussed and adjusted. The experience was a very grievous one for all concerned. But in the end, not a single member of the Mathematical Research Group was among those released; whenever the name of a mathematician was mentioned, the conference group decided that he could not be spared, and one of the other supervisors supplied a substitute.« (Fry; 1963:936)

In der Zeit zurückgehenden Betriebes und stark absinkender Installationen – d. h. technischer Produktion – verschob sich die Konzentration der Forschung auf die Lösung grundlegender und langfristiger Probleme – was in gewisser Weise als Automatismus in der Finanzierung der F+E-Aufgaben begründet lag.[756] Grundlegende Problemlösungen aber – wie die Entwicklung der Theorie der Wellenleiter (Koaxialkabel), die für den für später erwarteten Verkehrsanstieg und die TV-Übertragungstechnik von entscheidender Bedeutung sein würden – waren zu einem beträchtlichen Teil bereits in der Mathematischen Forschung konzentriert bzw. diese daran beteiligt. Ein weiterer Zustrom von Theoretikern kam mit der Eingliederung der Abteilung für Development and Research der AT&T in die Bell Laboratories nach 1934: 1935 kam John Carson, der dort die Gruppe »Transmission Theory Development« geleitet hatte mit 3 seiner 5 Mitarbeiter.[757]

Die wachsende Aktivität in eigenständiger Forschung, statt in bloßer Beratung war eine notwendige Voraussetzung dafür, Angewandte Mathematiker wie Shannon am fruchtbarsten in dieser Gruppe einzusetzen:

> »Before 1940 T.C. Fry ... tried to initiate this move into a more new individual part, rather than consulting for other people. Probably this was a good idea – I don't know. I enjoyed it more that way« (Shannon; 1977:2/140)

Shannon trat in 1940/41 in die Gruppe ein, nachdem sie auch Theoretiker anderer Bereiche wie W.A. Shewart (Statistische Methoden in Qualitätskontrolle der Produktion) aufgenommen hatte[758] – ehemals Leiter der Gruppe »Theory and Special Studies« im »Inspection Engineering Department« der Bell Laboratories[759] So war sie *die Theorieabteilung* der BTL geworden.

Dieser Trend war Folge und Voraussetzung des Engagements und der Motivierung hochrangiger Theoretiker. Wohl kaum hätte zu dieser Zeit anderswo in der Industrie – schon gar nicht in einer F+E-Organisation des Typs der damaligen Siemens-Forschung und Entwicklung – ein Mann wie Shannon arbeiten wollen oder können.

Viel komplexer als in der Anfangszeit sah man in den Dreißiger Jahren die Funktionen mathematischer Forschung.

John Carson unterschied 1935 drei Klassen von Aufgaben:[760]

a) »positive« Analyse, die sich z. B. in Patenten niederschlug;

b) »negative« Analyse, die Fehler in vorgeschlagenen Neuentwicklungen erkennen half und es, nach Fry's Ansicht, verhindern half, daß »perpetual motion machines« zum Ziel industrieller Entwicklungsprogramme gemacht würden (Fry; 1941:271 f.)

---

[756] vgl. Teil II.1.3
[757] Org.Karte: AT&T-Department of Development and Research; 1.12.1923 BAA
[758] siehe 151
[759] im Jahr 1926. (Fagen; 1975:867)
[760] Carson an Fry; 31.1.1935, BAA, Transmission Theory, 11.6. Vol.I ebenso Carson (1936:398)

c) die Schaffung von »guiding theories«.

Gleichzeitig, ab 1934, begann die innere Strukturierung der Gruppe nach Sachgebieten. In vierprinzipiellen Funktionen war die Gruppe dann tätig, die man nach den Funktionsbeschreibungen Fry's (1941) als die folgenden angeben kann:

1 Anpassung von Daten und Theorie

2 Ersatz für Experimente

3 Entwurf für Experimente und Gruppen von Experimenten

4 Reduktion theoretischer Ergebnisse und numerischer Verfahren auf eine Arbeitsform für den Ingenieur.

Inhaltlich war zu dieser Zeit die mathematische Arbeit der Gruppe durch Schwergewichte in Algebra und Analysis und die fast völlige Abwesenheit höherer Geometrie, wie auch die völlige Abwesenheit

> »of the specific techniques which play such a large role in modern physics and astrophysics« (Fry; 1941:269)

gekennzeichnet.

Fry's Nachfolger in der Leitung der Gruppe, Hendrik Bode, nannte 1948 zusätzlich bereits »statistics and probability« (Bode; 1948:1). War die separate Entwicklung der mathematischen Methode selbst zu Beginn noch die Ausnahme, so nannte Bode sie 1977 als die eigentliche Aufgabe der mathematischen Forschung:

> »The difficulty with most mathematicians familiar with Bell Laboratories is rather that they translate some existing mathematics, fairly well established in slightly different terms and then they are done. ... The problem ... is not one of holding the people in its one of pushing them out.« (Bode; 1977:2/860)

Besonders für theoretische Analyse technischer Systeme stellte Fry 1963 definitiv fest,

> »the mathematician is no longer a consultant« (Fry; 1963:938)

Diese Bewegung der angewandten Mathematik in technischer Forschung der Industrie wie auch in der Kriegsforschung der USA von *reiner Dienstleistung* zu eigenständiger *theoretischer Forschung* spielte eine entscheidende Rolle für die Bildung »interdisziplinärer« Theorien nach dem Krieg.

2 DIE TECHNIK

»Security, Accuracy and Speed«

(Motto des US-Signal Corps)[761]

2.1 DIE FERNMELDETECHNIK WÄHREND DES KRIEGES

In der nachrichtentechnischen Forschung und Entwicklung vollzog sich mit dem Beginn des Krieges in allen technisch weiter fortgeschrittenen Ländern eine abrupte und nahezu vollständige Verlagerung der Forschungsrichtung von der kommerziellen auf die Kriegs-Nachrichtentechnik. Die Fortschritte der Nachrichtentechnik während des Krieges waren allein Resultate der Kriegsforschung.

Ein Index, der die erzwungene Abstinenz in kommerzieller Nachrichtentechnik deutlich macht, ist die Anzahl der Telefone in den USA. Deren Zahl hatte sich in den 24 Jahren von 1920 bis 1944, also etwa bis Ende des Krieges einmal verdoppelt (von 13,4 auf 26,9 Millionen), jedoch bereits in den ersten 10 Jahren nach dem Krieg bis 1954 ein zweitesmal (auf 52,8 Millionen).[762]

Die Zahl der auf Leitungen beförderten Telegramme in den USA erreichte 1945 erstmals wieder fast den Stand, den sie 1929 mit 250,5 Millionen gehabt hatte (242 Millionen). Wie wenig davon F+E der Telegraphengesellschaften jedoch gefordert wurden, zeigt die Zahl von 276 Ingenieuren, die zu dieser Zeit in der größten Telegrafengesellschaft, Western Union, insgesamt tätig waren,[763] bei mehr als 63.000 Angestellten (wovon mehr als 12.000 Boten waren). Nicht viel anders war es im Rundfunkbereich. Die Absolutzahl der Sendestationen blieb etwa konstant, lediglich der Anteil der Stationen, die an US-Weite Netze anschließbar waren, nahm zu. Bei insgesamt 891 Rundfunkstationen im Oktober 1945 in den USA und 22.518 Beschäftigten in den Rundfunkgesellschaften waren nur ganze 92 in F+E engagiert (gegenüber 1.182 Stenografen)[764] Tabelle 10 stellt einige entsprechende Angaben zusammen.

TABELLE 10: Einige Indizes der Entwicklung kommerzieller Nachrichtentechnik in den USA (Q.: Berichte der Federal Communications Commission)

	1920	1922	1924	1926	1928	1930	1932	1934	1936
Telefone	13,4	14,4	16,2	17,7	19,3	20,2	17,4	17,0	18,4
Telegramme*				230,8	239,4	226,5	154,4	167,8	191,3
Rundfunkstationen									
	1938	1940	1942	1944	1946	1948	1950	1952	1954
Telefone	19,9	21,9	24,9	26,9	31,6	38,2	43,0	48,1	52,8
Telegramme*	185,2	189,9	221,7	230,9	223,1	202,0	189,0	161,5	163,1
Rundfunkstationen	660	765	851	865		1824			

* hier sind nur die Leitungstelegramme gezählt. Die Telegrammzahlen der Funktelegrafengesellschaften bewegten sich stets um 10 Millionen. Angaben bis auf »Rundfunkstationen« in Millionen

Die deutlichen Trends sind: Telefonie und Rundfunk (wie auch Fernsehen) nehmen nach dem Krieg drastisch zu, während die Telegrafie danach an Betriebsvolumen deutlich abnimmt. Die Telegrafie spielte in der militärischen Nachrichtentechnik eine besondere Rolle, der Ausbau der zivilen Sender-

[761] Nicols (1946:115)
[762] FCC-Bericht (1945:17)
[763] FCC-Bericht (1945:146)
[764] FCC-Bericht (1945:242)

und Telefonnetze mußte auf die Nachkriegszeit vertagt werden. Für die Beurteilung nachrichtentechnischer Entwicklung nach dem Muster *Betrieb – Technik – Theoriebildung* sind die obigen Indizes ziviler Nachrichtentechnik für die Kriegszeit ebenso ungeeignet wie sie für die Beurteilung der Vorkriegszeit geeignet waren.

Ebenso gibt eine Analyse der Publikationen während des Krieges kein verwertbares Bild, da der Schwerpunkt nachrichtentechnischer Entwicklung in ihnen nicht erfaßt wurde. Erst in der Zeit nach dem Krieg decken sich nachrichtentechnische Fachdiskussion und Publikationsprofil wieder.

Tabelle 11 zeigt die Anzahl von Zeitschriftenartikeln, die die Autoren des Science Abstracts, Ser.B, Electrical Engineering einigen für diese Untersuchung wesentlichen Bereichen zwischen 1946 und 1950 zuordneten.[765]

Dabei zeigen sich die folgenden deutlichen Trends: die Arbeiten zur Telefonie erleben einen starken und stetigen Anstieg, von 44 (1946) auf 137 (1950), ebenso steigt die Zahl der Arbeiten zum Fernsehen von 23 (1946) auf 61 (1950) – dieses die deutlichen Zeichen der Wiederbelebung kommerzieller Nachrichtentechnik nicht nur als einer Menge technischer Installationen, sondern auch als eines *wissenschaftlich/technischen Fachgebietes;* die Arbeiten zur Computertechnik (»Calculating Apparatus«), die 1946 noch unter Science Abstracts, Ser.A, Physical Sciences abgehandelt wurden, steigen in ihrer Anzahl rapide von 9 (1947) auf 43 (1950); die Zahl der Arbeiten zur Telegrafie stagniert auf einem niedrigen absoluten Niveau; die Kriegstechnik Radar wird bis 1947 in steigender Zahl von Arbeiten (nachträglich) besprochen; deren relativem Gewicht für die kommerzielle Nachrichtentechnik entspricht das anschließende Absinken der Zahl der mit ihr befaßten Arbeiten, von 95 (1947) auf 20 (1950); die Zahl der theoretischen Arbeiten zur Nachrichtentechnik allgemein (»Telecommunications«) wächst rapide an.

TABELLE 11: Entwicklung verschiedener Teilgebiete in den Publikationen zur Nachrichtentechnik nach dem Krieg (Q. : Science Abstracts, Ser.B)

	1946	1947	1948	1949	1950
Telekommunikation	-	2	11	21	17
Radar	39	95	39	49	20
Telegrafie	14	13	16	10	14
Telefonie	44	67	76	112	137
Television	23	50	54	86	61
Modulat ion	50	52	62	46	50
davon: Pulsmod.	13	11	28	10	16
Rechenapparate	-	9	14	34	43
automatische Regelung	34	29	51	31	65

Die weiter unten besprochenen Arbeiten von Shannon, Gabor, Tuller u.a., wie auch die sich auf diese berufenden Arbeiten der »zweiten Generation« von Nachrichtentheorien werden sämtlich unter »Telecommunications« (Theorie; erwähnt – die meisten der Autoren begegneten sich später dann auch in institutionell definiertem Rahmen, in Zeitschriften, auf Kongressen in F+E-Organisationen.

Soweit dieser erste Eindruck von der Entwicklung der nachrichtentechnischen Fachgebiete kurz nach dem Krieg. Kein unmittelbarer Schluß läßt sich daraus auf die drei großen Komplexe ziehen, in denen Nachrichtentechniker – und mit ihnen nachrichtentechnische Begriffe und Methoden – *während des Krieges* engagiert waren. Diese waren:

[765] Diese Zuordnungen erfolgten nicht auf der Basis von Titelbegriffen, sondern auf der Basis der Inhaltsanalyse durch die Autoren der Abstracts. Im allgemeinen waren dabei die Artikel jeweils mehreren Bereichen zugeordnet worden – je nach Relevanz des Inhalts für diese. Einheit der Zählung ist also im Detail nicht der Artikel, sondern die in diesem angesprochenen Aspekte. Die Analyse ist so noch wesentlich feiner.

Die *Radartechnik*, mit ihrem immensen Einfluß auf die Entwicklung elektronischer Bauteile, automatischer Feuerleitsysteme und der Impulstechniken.

Die *Technik der Feuerleitsysteme*, die die Entwicklung automatischer Regelsysteme, Servomechanismen und analoger wie digitaler Rechner und Operationsforschung stimulierte.

Die *Fernmeldetechnik*, die den Aufbau weltweiter Nachrichtennetze, eine ungeheure Entwicklung der Kryptografie und des Systems Engineering für die Anpassung spezieller Nachrichtensysteme an taktische Bedingungen mit sich brachte – wie auch die Durchsetzung der Frequenzmodulation und erste Anwendungen von Pulsmodulationen.

Erst mit dem Ende des Krieges erlangten die traditionellen kommerziellen Bereiche der Nachrichtentechnik wieder größere Bedeutung.

2.2 DAS RADAR

> »this ultra-high frequency radar is a ›young man's game‹. Practically no oldsters know it.« (K. Compton; 1944)[766]

Die Radar-Entwicklungsprogramme[767] schufen mit den Detailtechniken der Mikrowellen- und der Kurzzeitschaltungstechnik wesentliche Voraussetzungen der späteren Digitalisierung anderer Techniken, in die diese Detailtechniken transferiert wurden.

Durch die Radar-Entwicklungsprogramme begannen Fragen der Meßtechnik nach den Grenzen der Meßbarkeit für die Nachrichtentechnik eine Rolle zu spielen.[768]

Entwicklung, Produktion und Nutzung von Radarsystemen sorgten für die allgemeine Verbreitung elementaren bis fortgeschrittenen nachrichtentechnischen Wissens in weite Fachgebiete.

VORBEMERKUNG

Der Kern eines einfachen Impuls-Radar-Systems, wie es in vielerlei Weise eingesetzt wurde, ist in Abbildung 5 dargestellt. Daneben gab es noch eine Vielzahl anderer Systeme und Verfahren der Funkortung und -navigation, die sich zum Teil modulierter UKW-Wellen bedienten oder der »Mitarbeit« des zu ortenden Zieles bedurften.[769]

---

[766] zit. nach Baxter (1968:133)

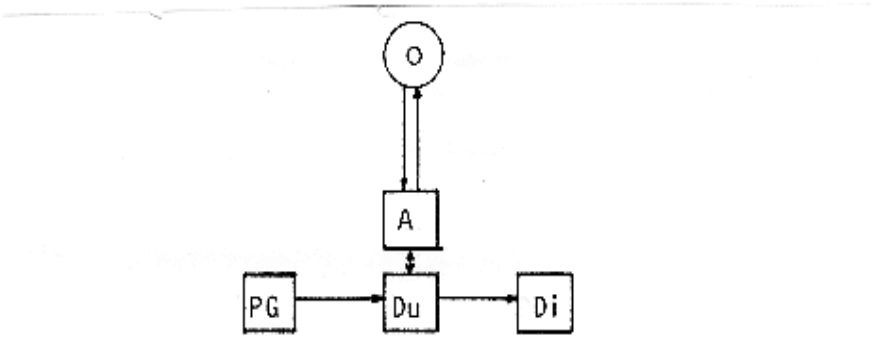
[767] Eine sehr ausführliche Schilderung der amerikanischen Entwicklung der Radarsysteme findet sich in den drei Bänden Signal Corps (1957). Auf die britische Entwicklung konzentrieren sich A.P. Rowe (1948) und R. Watson-Watt (1959). Ausführliche Darstellungen der Gesamtentwicklung mit besonderer Berücksichtigung auch der deutschen Arbeiten während des Zweiten Weltkrieges geben C. Bekker, C. Bley (1949) und Reuter (1971). Eine Darstellung der Radarentwicklung im Zusammenhang mit der amerikanischen Kriegsforschung des OSRD enthält James P. Baxter (1968).
Dies allein die größeren Monografien. Eine Vielzahl von Artikeln, in denen einige Teilaspekte der Radarentwicklung zusammengefaßt wurden, erschien in den Jahren 1946-1950. Die wichtigsten werden im Text zitiert und finden sich im Literaturverzeichnis angegeben. Neben diesen wurden die obengenannten Arbeiten benutzt.

[768] Theoretisch direkt waren Radar-Probleme von Einfluß auf die Arbeiten von McKay (195o) und Woodward (1950) in Großbritannien. Diese erschienen jedoch zu spät, um noch als unbeeinflußt von der Shannonschen Theorie gelten zu können, und sind daher nicht mehr Gegenstand dieser Untersuchung.

[769] Eine detaillierte Klassifikation der Radarsysteme gibt z.B. C.E. Strong (1948). »Mitarbeit« heißt hier eine elektromagnetisch aktive Rolle des Objektes (Sendung spezieller Impulse).

Die Antenne (A) wird dabei für Sendung und Empfang des von dem Objekt (O) zurückkehrenden Impulsechos genutzt, eine Duplex-Einrichtung (Du) besorgt dabei das Umschalten von Sendung auf Empfang. Der zeitliche Abstand des Echos zum zuvor gesendeten Impuls bildet dabei die Entfernung zwischen Objekt und Antenne ab. Die Aufgabe eines solchen Systems ist es im allgemeinen, ein Objekt bereits *so weit entfernt wie gefordert, so genau wie möglich in allen drei Raumkoordinaten zu lokalisieren,* d. h. zwei eng beieinander befindliche Objekte, wie auch solche unterschiedlichen (Radar)Querschnitts[770] unterscheiden zu können.

ABBILDUNG 5: Ein einfaches Puls-Radar-System



A: Antenne PG: Puls Generator Di: Anzeige
O: Objekt Du: Duplexer

2.2.1 ENTWICKLUNG DER NUTZUNG UND TECHNISCHER TREND

Obwohl erste Funkortungspatente bis ins Jahr 1904 zurückreichen[771], war es erst der Zweite Weltkrieg, der Radar (für eine begrenzte Zeit) zu *dem* nachrichtentechnischen Problem werden ließ und dessen Einfluß auf die weitere nachrichtentechnische Entwicklung begründete. Etwa 95% aller Radarpatente bis 1945 waren in dieser Zeit entstanden.[772]

Radar war, anders als die auch kommerziell genutzten Nachrichtenübertragungstechniken, gegenüber den strategischen Zielsetzungen der beteiligten Parteien nicht »invariant«. Konkret, auf der Basis seines technischen Vorkriegsstandes wurde es allgemein von den Beteiligten als eine *defensive* Technologie angesehen. Aus eben diesem Grund wurde in seine weitere Entwicklung in Großbritannien gewaltig investiert und in Deutschland jede Beschäftigung mit cm-Radar sogar verboten.[773] Im Verlauf des Krieges wandelten sich mit der Veränderung der strategischen Lage auch die Anforderungen an

---

[770] Die »Radar-cross-section« ist der tatsächlich vom Radar registrierte Querschnitt des Objektes, zumeist verschieden von dessen physikalischen Abmessungen und in der Mehrzahl der Fälle kleiner als diese.
[771] Vgl. O. Limann (1955)
[772] So geschätzt von Dow (1945:291)
[773] So z. B. Baker (1970:304). Einer der in der deutschen Radarforschung Beteiligten berichtete (Paul von Handel; 1952:3): »Bei uns in Deutschland war selbstverständlich die kommende Bedeutung dieser neuen Technik sehr wohl bekannt. Aber von der Seite der praktischen Anwendung her gesehen schien diese Technik zunächst nur für rein defensive Aufgaben brauchbar... Dementsprechend liefen die Arbeiten der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Funkmeßtechnik zunächst nur mit bescheidener Dringlichkeit, ja in den ersten Kriegsjahren erging sogar ein amtliches Verbot an Forschung und Industrie, sich noch weiterhin mit Arbeiten auf dem Gebiet der dm und cm-Wellen zu beschäftigen, da diese nicht kriegsentscheidend seien.«

das Radar. Der Druck zu offensiver Nutzung (z. B. Bodensichtgeräte bei Bomberflügen) wuchs auf alliierter, zu defensiver (z. B. Flugabwehr) auf deutscher Seite.[774]

Der stabilste technische Trend deutete dabei stets in die Richtung der Entwicklung von Radar kürzerer Wellenlängen (d. h. höherer Frequenzen). Vor allem zwei Faktoren sprachen dafür: gesteigerte Genauigkeit – die z. B. bei der Kopplung mit automatischen Flugabwehrsystemen unbedingt erforderlich war und kleinere und leichtere Geräte des Mikrowellenradar – wie sie für den Einbau in Flugzeugen notwendig waren.

Mit dem Übergang zu kürzeren Wellenlängen war eine drastische Veränderung der Leistungen und Einsatzmöglichkeiten des Radar verbunden. In Anbetracht der noch mangelhaften Genaugikeit der britischen »Home Chain«, die 1938 in Betrieb genommen worden war[775], galt zu dieser Zeit die Parole: »Ein Königreich für 1 Kilowatt auf 1 Meter«[776]. Es begann ein »Wavelength Battle« (Dunsheat; 1946:22), den Großbritannien als erster aufgenommen hatte und für sich entschied. Im Februar 1940 hatten Randall und Boot (Telecommunications Research Establishment) eine Hochleistungsröhre für 9 cm Radar mit 50 kW Impulsleistung entwickelt. Ende 1940 begann deren Produktion und Weiterentwicklung in Radiation Laboratory (RL) am MIT und in den BTL in den USA.[777] Dieses war der entscheidende Kernpunkt der alliierten Radarüberlegenheit ab 1943.

Erster Einsatz des 9 cm Radar war im Frühjahr 1943 der Anti-U-Boot-Krieg im Atlantik, der zu den »schwersten deutschen U-Boot-Verlusten des Zweiten Weltkrieges« (Bekker:350) führte. Im gleichen Jahr wurden das H2S Bombenleitradar (9 cm) und das H2S Bodenbetrachtungsradar bei einem Angriff auf Hamburg eingesetzt. Schließlich wurden 3 cm und 1 cm Radargeräte entwickelt und konnten, wie das amerikanische SCR-584 mit Feuerleiteinrichtungen gekoppelt, eine weitere Revolution in der Flugabwehr auslösen. Die Genaugikeit des SCR-584 ermöglichte eine automatische Verfolgung eines feindlichen Flugzeuges im Radarstrahl und die automatische Einrichtung des Abwehrfeuers nach den Radarangaben. Weitere Anwendungen von Funkmess-, -ortungs- und Radarverfahren waren Wetterdienste, die Unterscheidung von feindlichen und verbündeten Flugzeugen, Bombenzielwurf, Navigationshilfe etc.etc.

Während des Krieges entwickelte sich die Radar-Technik innerhalb von 5 Jahren soviel, wie die Technik der Rundfunkempfänger in den zwanzig Jahren nach 1920 – nach dem Urteil eines die Entwicklung bestimmenden Radarwissenschaftlers.[778]

Es reduzierten sich die verwendeten Wellenlängen von einigen Metern auf einen Zentimeter, das verwendbare Frequenzband erweiterte sich von 500 Megahertz auf 30.000 MHz![779]

Diese phantastische Entwicklung in immer höhere Frequenzbereiche führte sogar zu Schwierigkeiten in der Benennung der immer neuen Bereiche. 1945 machte P. Honnel (Signal Corps) daher den Vorschlag, eine völlig neue, logarithmische Frequenzskala einzuführen, nach dem Vorbild von »Dezibel« und pH-Wert, als 10er Logarithmus der Frequenz das »marconi« zu etablieren. Er wollte damit für die Zukunft Namen wie »mammuth« oder »colossal« vermeiden, da »high«, »ultrahigh«, »superhigh« schon realisiert worden waren (Honnel; 1945:422).

Die treibende Forderung hinter dieser Entwicklung war die nach immer höherer Genauigkeit der Ortung.

---

[774] Das H2S-Radar der Alliierten auf 9 cm Wellenlänge war das erste Offensiv-Radar, in Verbindung mit strategisch eingesetzten Bomberverbänden zur Bombenleitung (Wheeler; 1978:371)
[775] Bekker:115
[776] So zitiert Bley (1949:8) den britischen Radarspezialisten Rowe
[777] Bekker:348
[778] DuBridge (1946:4)
Vannevar Bush, Chef des OSRD, der zentralen Kriegsforschungsbehörde der USA, wird von Kelly (1946:235) mit der Ansicht zitiert, daß die Fortschritte der 5 Jahre normalerweise in diesem Gebiet gut 3mal solange gebraucht hätten, also 15 Jahre.
[779] DuBridge (1949:2)

Radar, als prinzipiell ein »system of measurement rather than communication« (Woodward; 1950:108) war eine analoge Technik, die ein physikalisches Abbild der Umgebung der Antenne erzeugt, obwohl auf der Ebene der Signalübertragung sich diskreter Impuls- und Duplextechniken bedienend. Die Gesamtleistung ließ sich nicht mit einer *Geschwindigkeit*, sondern vor allem mit dem Begriff der *Genaugikeit* beurteilen, wobei höhere Genauigkeit stets nur durch qualitative Veränderung der physikalischen Funktionen (Wellenlänge, Impulsdauer etc.) erreichbar war. Wie alle analogen Techniken der Nachrichtenverarbeitung also eher ein Meßinstrument[780] als ein »Zähler« – wie die digitalen Computer. Mit dieser Charakteristik verkörperte das Radar so etwas wie das inverse Prinzip zum Rundfunk:

> »lt is like broadcasting in that it is one-way transmission of intelligence. lt is unlike broadcasting in that it gathers intelligence from its surroundings rather than giving it out. The intelligence gathered is the distance and direction of objects within the range of the radar.« (Kelly; 1945:224)

Die schon lange in der NT zu verzeichnende Entwicklung in Richtung auf die Erschließung immer höherer Frequenzbereiche wurde durch das Radar drastisch beschleunigt:

> »Since the whole trend of radio development in the past two or three decades has been toward shorter wave length and higher frequency, it is not surprising that the same trend should have characterized radar development. In the case of radar, however, there were considerations over and above those applying to radio, which put a large premium on higher frequency and shorter wavelength. This is because radar is essentially a seeing and measuring art, and fineness of vision and precision measurement are related directly to fineness or shortness of wave« (Quarles; 1946:210).

Hinzu kam ein zweiter treibender Faktor, nämlich die Notwendigkeit des Einsatzes von Radargeräten an Bord von Flugzeugen. Im Jahr 1942 wurde -für die Alliierten, besonders die USA, die Bekämpfung deutscher U-Boote aus der Luft eine zwingende Notwendigkeit. [781]Flugzeugradar, stets der größte Teil des Radareinsatzes,[782] wurde erforderlich und für dieses erforderten die Kriterien minimalen Gewichtes und minimalen Volumens den Einsatz von Techniken möglichst kurzer Wellenlängen.[783] Das Mikrowellen-Radar der USA tauchte daher zuerst in seinen »aircraft applications« auf (1942), dann erst, 1944, als Bodenradar (Signal Corps; 1957:276). Die strategische Verkennung der Luftwaffe *in Deutschland* spielte daher für die mangelhafte Forcierung der Radartechnik ebenfalls eine wichtige Rolle.[784]

Ein letzter Faktor, der schließlich noch eine gewisse Rolle für die breite Anwendung des Mikrowellenradar in den USA spielte, war die Notwendigkeit, angesichts der langen Küsten der USA auch das *Bodenradar* für schnellen Lufttransport geeignet zu dimensionieren.[785]

Die Entwicklung der Mikrowellentechnik war das deutlichste Ergebnis der Radarentwicklung, bei weitem jedoch nicht das einzige. Ein weiterer Trend, der aus der Forderung nach gesteigerter Genau-

---

[780] Daher auch »techniques and methods of measurement later applied to radar. Experience in the art of measurement made it possible, in turn, for us to progress rapidly in the development of various components essential to the success of radar techniques.« (Buckley; 1944/45:234) Diese Integration der Meßtechnik in die Radar-Technik ist ein ganz wesentlicher Punkt, da sie mit der theoretischen Integration meßtechnischer Modelle in die Nachrichtentechnik einherging.

[781] Signal Corps (1957:83)

[782] Kelly (1945:238) über »airborne radars«: »the largest of all sectors of radar, from research, through production to military use.«

[783] Kelly (1945:239)

[784] Dupuy, Dupuy (1970:1021) kommen zu dem Schluß:
»The Germans had not grasped the full implications of air power as a new concept of warfare«. Von Handel (1952:4) weist auf die größere Bedeutung von Kampfflugzeugen in der deutschen Luftwaffe hin, »die im Verhältnis zu den englischen und amerikanischen sehr klein waren. Allein schon die räumliche und gewichtsmäßige Unterbringung recht umfangreicher und schwerer Funkanlagen, wie es diese Radargeräte waren, deren Bedienung noch dazu einen eigenen ... Mann erforderte, wäre kaum möglich gewesen, ohne die Gesamtentwicklung zu ändern.«

[785] ebenda: 244

igkeit der *Entfernungskoordinate* folgte, war die Entwicklung von Techniken mit immer kürzeren Impulsen immer höherer Energie.

Je höher die Frequenzen, desto kürzer konnten die Impulse sein. Je größer deren Energie, desto größer die Reichweite und je kürzer sie waren, desto genauer ließen sich Entfernungen messen.

Voraussetzung war allerdings zusätzlich die Entwicklung immer präziserer Zeitmeßverfahren. Entwikkelt werden mußten

> »techniques to make possible generation of extremely short pulses of radio energy at high levels of power; and accurate measurement of time intervals as short as a few hundred-millionths of a second« (Kelly; 1945: 224)

Es war beim optimalen Radar also nötig, die größtmögliche Energie abzustrahlen und mit höchstmöglicher Empfindlichkeit zu empfangen:

> »Radar is, in this respect, one of the most inefficient devices known to electrical science« (Colton; 1945:741).

Da alle anderen Teile eines Radarsystems der Leistung des Strahlungssystems angepaßt werden mußten und dessen Grenzen nicht weiter herabsetzen durften,[786] mußte für die Umschalter (Duplexer) zwischen Sendung und Empfang der Antenne ein ultraschneller Schalter entwickelt werden – was in der Gestalt der »TR« Elektronenröhre geschah.[787]

Man erkennt hierin bereits eine Reihe der Elemente der späteren neuen zivilen Techniken der Pulsmodulation, des Multiplex, der elektronischen Schaltung in digitalen Computern und der Mikrowellen.

Mit dem Ende des Krieges wurden die Radarentwicklungen binnen kurzem »drastically reduced« (Wheeler; 1978). Ähnlich schnell wie die Bedeutung des Radar gewachsen war, schwand sie wieder bis auf einen (relativ) unbedeutenden Restbestand weiterer ziviler und militärischer Forschung – bis zum Beginn des Koreakrieges – . Ähnlich wie die Forschungs- und Entwicklungsinstitutionen wieder abgebaut wurden, erfolgte *inhaltlich* eine Neuorientierung. Die unterbrochenen zivilen Programme wurden wieder aufgenommen und die Frage war

> »How will radar serve the arts of peace« (Kelly; 1946:293)

Das große inhaltliche Dach »Radar«, unter dem eine Vielzahl von Detailtechniken entwickelt worden waren, entfiel, und diese Techniken ordneten sich wieder den Zielen anderer Techniken unter. Deutlich sichtbar ist dieser Vorgang beispielsweise an der Zahl der Artikel aus Fachzeitschriften, die in den Science Abstracts, Ser.B (Electrical Engineering) dem Stichwort »Radar« zugeordnet werden konnten (vgl. Tabelle 11).

Sie ist aber vor allem direkt technisch deutlich geworden. Die Ausdehnung des Frequenzspektrums erhöhte beispielsweise die Zahl der Funkkanäle in der Übertragungstechnik. Die Technik der Kurz-Zeitmessung hatte sich bis auf den 100. Teil einer Mikrosekunde verfeinert.[788] Techniken, die davon profitierten, waren Funk-Telefoniesysteme, wie sie das Bell System auf der Basis von Radartechnologie 1945 vorstellte, das Fernsehen, Computer, automatische Warnanlagen etc.[789]

---

[786] Quarles (1946:210)
[787] Quarles (1946:210)
[788] Ridenour (1946:207)
[789] Lack (1945:293)

So wie z. B. die Bildröhre, die innerhalb der F+E-Programme des Fernsehens entwickelt worden war, den Beginn der Radarprogramme erleichterte, beschleunigten andererseits die dort weiter entwickelten Techniken nach dem Krieg dasselbe Gebiet der TV-Technik.[790]

Direkte Übergänge gab es auch vom Mikrowellenradar zu den ersten Mikrowellen-Puls-Kommunikationssystemen: eine der ersten Nutzungen dieser Technik geschah noch direkt im Bereich des Radar – für die Übertragung von Schirm-Bildern einer Kette von Radarstationen in eine Zentrale, Großbritannien.[791] Das WS-10-Puls-Kommunikationssystem entstand direkt aus den Radartechniken[792] , benutzte dessen Magnetron-Röhre.[793]

Diese *Diffusion der diversen Detailtechniken* in breite Bereiche der Fernmeldetechnik war ein weitaus wichtigerer Trend der Nachkriegsnachrichtentechnik als weitere Anwendungen oder Entwicklungen des Radar selbst. Zitiert sei dazu abschließend C.E. Strong, der in seinem Vortrag »Position Finding by Radio: First Thoughts on the Classification of Systems« 1948 die folgenden Bemerkungen über eine notwendige Ordnung der diversen Radarsysteme machte, die aber genausogut für das Feld der Nachrichtentechnik nach dem Krieg generell gelten konnten, in das die Detailtechniken des Radar schnell diffundierten:[794]

> »lt remains to us now to *apply this new knowledge to the needs of the day,* and certainly it is a task to inspire interest and to fire enthusiasm. But first, I believe that, to facilitate the orderly application of this knowledge, there is a need for us to *rearrange our material* and perhaps to *overhaul our terminology.* The art has moved so fast that we are almost overwhelmed by the *flood of systems,* and there has been little chance to sort them out in an orderly fashion and to see them in their proper relationships one to another ... Now, however, with the completion of the record of war – time acitivty, ..., we have the opportunity to stand back and survey the entire scene so that things may be viewed in their true perspective.« (Strong; 1948:31)

Das Bedürfnis nach einer Übersicht über das in der Kriegszeit tatsächlich geleistete, wie auch das mit den entwickelten Mitteln weiterhin Mögliche spiegelt sich in der großen Zahl von Versuchen theoretisch/technischer Gesamtansichten in dieser Zeit in der Nachrichtentechnik und des großen Erfolges einiger von ihnen.[795]

2.3 FEUERLEITUNG

VORBEMERKUNG

Die Feuerleitsysteme stellten ein elementares Modell der Kriegssituation dar, einen guten Teil der Komplexität von Suchen, Orten und Vernichten eines gegnerischen Objektes widerspiegelnd.

Ein derartiges System bestand im allgemeinen aus den folgenden, in Abbildung 6 wiedergegebenen Bestandteilen:

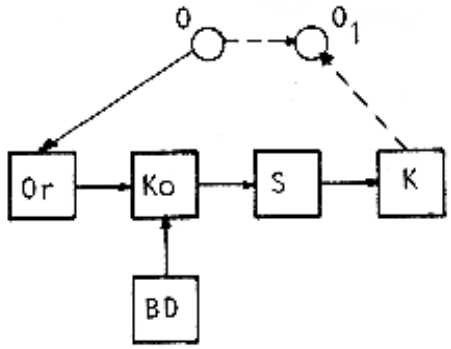
Über eine gewisse Zeit werden die Bahndaten des Objektes (O) dabei festgestellt (Or), dem Kommandogerät (Ko), einem Analogcomputer übermittelt, dem auch gleichzeitig die der konkreten Situation

---

[790] Patterson (1947:21)
[791] Germany, Lawson (1947:619)
[792] Cripps (1947:2)
[793] Angwin (1947:12) und Anderson (1947:585
[794] Hervorhebung – F.H.
[795] vgl. Teil 1

entsprechenden ballistischen Leistungsdaten der Kanone eingegeben werden (BD). Aus diesen ermittelt das Kommandogerät die zukünftige Position des Objektes und die notwendigen Steuerimpulse für die Servomechanismen (S), die die Kanone (K) in die entsprechende Position bringen, sowie die für die Entfernung notwendige Zündeinstellung. Für die längste Zeit des Krieges wurden viele der beschriebenen Funktionen der Datenübermittlung und -verarbeitung von Operateuren vorgenommen. Zu Beginn waren Ortungsbatterien (Suchscheinwerfer, optische und akustische, wie auch Radarmessung), Feuerbatterien und Feuerleitstand relativ separate Einheiten, die durch herkömmliche elektrische Nachrichtenübertragung miteinander verbunden waren.

ABBILDUNG 6: Prinzip eines Feuerleitsystems



O - Objekt, O_1 - zukünftige Position des Objektes, S-Servomechanik, K - Kanone, Ko - Kommandogerät, Or - Ortungsgerät, BD - Ballistische Daten

Prinzipiell gab es zwei mögliche Strategien zur Verbesserung der Leistung derartiger Systeme:

-die *Verbesserung der existierenden Systeme* durch nachrichtentechnisches Systems Engineering, Training der Operateure und Anpassung der Funktionen von Mensch und Maschine in derartigen Komplexen:

direkt in der Folge dieses Entwicklungsprogramms entstand in Großbritannien die Operationsforschung, ein Teil dieses Programms lag den psychologischen Forschungs- und den Trainingsaktivitäten der »Fire Control«-Abteilung der amerikanischen Kriegsforschungsbehörde NDRC zugrunde.

-die *Entwicklung neuartiger Systeme* mit dem Ziel automatischer Integration all dieser Funktionen:

in der direkten Folge dieses Entwicklungsprogramms kam es in den USA zur Verschmelzung nachrichtentechnischer Methoden mit dem Problembereich der Feuerleitung, deren herausragende Resultate die grundlegenden theoretischen Arbeiten von Wiener und Bode/Shannon zur Datenglättung und das elektrische Kommandogerät M-9 der Bell Laboratories waren.

In der Weiterverfolgung der beiden Strategien dehnte sich die Operationsforschung auch auf weite andere Bereiche aus, es entstand in den USA in der Kombination des Mikrowellenradar SCR-584, des elektrischen Kommandogerätes M-9 und des Annäherungszünders[796] ein automatisches Feuerleitsy-

[796] Obwohl nahezu alle kriegführenden Parteien an akustischen, elektrostatischen oder elektronischen Annäherungszündern für Granaten und Bomben arbeiteten, die nicht mehr auf fehleranfällige Zeiteinstellung der Zündung angewiesen waren, gelang es allein den Amerikanern, einen Funk-Annäherungszünder zum massenhaften Einsatz zu bringen. Entwickelt unter 0SRD-

stem von hoher Effizienz bzw. gewann die Wiener'sche Vorhersagetheorie nach Kriegsende allgemeine Bedeutung als Kernelement der statistischen Kommunikationstheorie.

2.3.1 DAS FEUERLEIT-PROBLEM

Die Aufgaben im Bereich der Feuerleitung schlossen eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungssituationen mit unterschiedlichen Effizienzforderungen ein.

Derartige Teilproblembereiche waren: die Entwicklung von Ortungsanlagen, wobei Radar meist separaten Forschungsorganisationen anvertraut war, weil es auch jenseits der Feuerleitung in einer Vielzahl von Effizienzbereichen weiterentwickelt werden mußte; die Entwicklung von Servomechanismen und Fernsteuerungsanlagen; die Entwicklung von Kommandogeräten; Tests von technischen Geräten; Testung des Personals; Training des Personals und Betriebsanalyse.

Dabei waren alle diese Teilbereiche mit Hinblick auf unterschiedliche Anwendungssituationen, wie Boden-Boden, Boden-Luft, Luft-Luft, Luft-Wasser (Torpedo) und Luft-Boden (Bombardierung) Kampf zu entwickeln.[797] Darüber hinaus richteten sich die konkreten Effizienzanforderungen an Feuerleitsysteme noch nach dem Kaliber und der Reichweite der beteiligten Waffen wie auch der besonderen taktischen Situation. Beispiele für mögliche Anwendungssituationen mit unterschiedlichen Effizienzanforderungen gab H.W. Bode 1944 im Vorentwurf zu einer, von Warren Weaver initiierten allgemeinen, »almost philosophical discussion of data smoothing« bezüglich dieses technisch theoretischen Zentralproblems der Automatisierung und Elektrifizierung der Feuerleitung:[798]

> »Even for heavy caliber guns the antiaircraft ›problem‹ is really several problems. Thus ship-based defense is quite different from land-based defense and even in the land based case mass formations at high altitudes, single missions at high altitudes, and intrusions at about five or ten thousand feet present quite different problems. ... The problem of establishing suitable measures of performance exhibits a similar diversity. For example, in the defense of a ship against torpedo and dive bombers, the objective is to destroy all the attackers since even one penetrating the antiaircraft screen may destroy the ship. In the defense of a land area gainst high-flying raiders such an objective is scarcely possible, but it is replaced by the objective of securing a high enough percentage of hits to make the raid too costly.« (Bode; 1944:2 f).

In ganz anderem Ausmaß als in der kommerziellen Nachrichtentechnik waren hier die Probleme durch die Verteilung und Wandlung von Anwendungssituationen bestimmt, durch die taktische, die geographische Situation, wie auch die technischen Entwicklungen der Gegenseite. An die Stelle der wenigen großen Effizienzgebiete der kommerziellen Nachrichtentechnik trat hier eine Vielzahl von Effizienzgebieten, die in zeitlicher Dauer und Anwendungsbereich viel begrenzter waren und dennoch jeweils von höchster Bedeutung. Jenseits dieser Diversität konkreter Effizienzanforderungen jedoch gab es einige wenige allgemeine Forderungen, die zwar nie allgemein formuliert oder gar einheitlich aufgestellt wurden, sich aber an vielen Stellen in den technischen Entwicklungen niederschlugen.

Eine der wichtigsten dieser Effizienzkonstanten war eben durch die Tatsache des schnellen Wechsels von Anwendungsbereichen und -situationen gegeben: Anpassungsfähigkeit der Geräte und Einfachheit ihrer Operation. Je geringer der Trainingsaufwand für die Operation der unterschiedlichsten Geräte, desto schneller ihre Einführung. Es werden später noch einige andere derartiger Effizienzkonstanten zur Sprache kommen. Viele unter ihnen wiesen in den unterschiedlichsten Bereichen auf eine Digitalisierung der Technik hin.

Kontrakten produzierten schließlich 300 verschiedene Firmen in 2000 verschiedenen Fabriken monatlich 2 Millionen Stück. »Except for the development of the atomic bomb this constitutes perhaps the most remarkable scientific achievement of the war« (Baxter; 1946:222)

[797] NAA 227, OSRD, Div. 7, Reports of Projects - List of Contracts

[798] NA FL 2

2.3.2 KOMMANDOGERÄTE UND COMPUTER

Die ballistischen Berechnungen in der Feuerleitung waren der erste wichtige Nutzungsbereich digitaler Computer. Das elektrische (analog) Kommandogerät M-9 stellte den Einbruch elektrischer/nachrichtentechnischer Methoden in den bis dato mechanisch dominierten Bereich der Feuerleitung dar.

Das M-9-Programm war damit eine wichtige Voraussetzung für die Integration nachrichtentechnischer Modelle in die Servotechnik.

In zwei Funktionen in – vor allem Großkaliber-Flugabwehr[799] – Feuerleiteinrichtungen spielten Computer eine Rolle: als Kommandogeräte (»fire control directors«) direkt in die Feuerleitsysteme integriert und als Großanlagen in den ballistischen Rechenzentren. Diese hatten für verschiedene Windgeschwindigkeiten, Kanonentypen, Munitions- und Zündertypen ballistische Kennwerte auszurechnen, die dann in jene eingegeben, zusammen mit den Positionsvorhersagen die Steuerbefehle für die Richt(servo)mechanik der Kanonen und die Zündereinstellung ergaben.

Unter völlig verschiedenen Bedingungen arbeitend erwiesen sich hier unterschiedliche Typen von Rechenapparaten als optimal angepaßt.

In den ballistischen Rechenzentren ging der Trend von den mechanisch bis elektromechanischen Differentialanalysatoren nach dem Muster des von[800] Vannevar Bush am MIT konstruierten Analogrechners zu den großen digitalen Rechnern der Bell Laboratories (George Stibitz), auf der Basis kommerzieller Telefonschaltrelais und Fernschreibgeräte,[801] des Harvard Computer Laboratory (H. Aiken) auf der Basis von IBM Lochkartengerät und schließlich war die Automatisierung der Berechnung ballistischer Tabellen

»the raison d'etre for the first electronic digital computer« (Goldstine; 1972:135),

dem ENIAC, der bereits 1946 die elektromechanischen Digitalrechner in der Rechengeschwindigkeit im Verhältnis 500:1 übertraf.[802] Um die Größenordnung der Aufgaben zu verdeutlichen, die bei der Berechnung derartiger ballistischer Tabellen zu bewältigen waren, mögen einige Angaben genügen.[803]

Ein typischer ballistischer Kurvenverlauf, für jeweils eine Kombination der oben genannten Variablen, benötigte etwa 750 Multiplikationen, um hinreichend bestimmt zu sein. Dafür brauchte ein Mensch mit einer Tischrechenmaschine etwa 12 Stunden, der analoge Differentialanalysator und der digitale Relaisrechner je etwa 10 – 20 Minuten. Eine typische Feuerleittabelle enthielt zwischen 2.000 und 4.000 derartiger Bahnverläufe!

Im August 1944 waren bei der Zentrale der US-Streitkräfte für ballistische Berechnungen, dem Ballistic Research Laboratory in Aberdeen und Philadelphia 15 derartige Tabellen fertiggestellt, weitere 74 waren in Arbeit und täglich gingen Anforderungen für 6 weitere Tabellen ein. Neue Artillerie konnte nicht eher in Betrieb genommen werden, ehe nicht die ballistischen Eigenschaften getestet, die Kennwerte berechnet und in solchen Tabellen zusammengestellt worden waren.

---

[799] Bush (1946:v) wie auch Blachman, Bode, Shannon (1946): wegen der großen Geschwindigkeiten und der Dreidimensionalität des Problems war die Großkaliber-Flugabwehr-Feuerleitung der schwierigste Fall.

[800] Der »Differential Analyzer« war die bis zum Krieg praktisch wie auch theoretisch wohl einflußreichste Rechenmaschine und eins der einflußreichsten F+E-Programme für diese Untersuchung. Vgl. Anhang V.

[801] Jones (1946:118). Stibitz erster »Relay Interpolator« hatte etwa 500 Telefonrelais, dessen spätere, in der Ballistik genutzte Entwicklungsstufen 1.300 bzw. (1944) 900 Telefonrelais. (Goldstine; 1972:115)

[802] Goldstine (1972:115)

[803] Diese Kalkulationen folgen Goldstine (1972:135 ff. und 165)

1944 waren im Ballistic Research Laboratory 176 »computers« beschäftigt, 10 Differentialanalysatoren waren in Aberdeen, 14 in Philadelphia installiert und etliche IBM- und Relais-Rechner standen zur Verfügung.[804]

Für diesen Anwendungsbereich ungeheuer aufwendiger Berechnungen waren die Digitalrechner wegen ihrer höheren Genauigkeit, Universalität in der Anwendung und Anpaßbarkeit dem zunächst schnelleren Differentialanalysator mindestens gleichwertig und gegen Ende des Krieges deutlich überlegen.

Anders jedoch in den Kommandogeräten, »on-line« Computern, die nur spezielle relativ einfache trigonometrische Berechnungen schnell – jedoch nicht notwendigerweise mit extremer Geschwindigkeit – durchzuführen hatten. Die notwendige Genauigkeit der Berechnung war begrenzt durch die Genauigkeit der Eingangsdaten (Positionsbestimmung), der Datenübertragung und der Datennutzung in den Servomechanismen, der Streuung der Kanonen und schließlich noch, gegen Ende des Krieges durch den Einsatz der Annäherungszünder (»proximity fuze«) – mit Erfolg wie bei der Abwehr der V-1 Angriffe 1944 über London.

Die Kalkulation der Einstellung von Flugabwehrgeschützen nach einer Bestimmung der Flugzeugposition war eine »highly developed art«[805] der Streitkräfte-Entwicklungsabteilungen. Die Positionsbestimmung erfolgte optisch (oder akustisch) oder die Reduktion dieser Daten auf operable Angaben für die Einrichtung der Abwehrgeschütze mittels Tabellen und mechanischer Analogmechanismen, d. h. eines Systems von meist 3 rückgekoppelten Servomechanismen[806] - die gewissermaßen die Bewegungen der positionsbestimmenden Elemente nach Maßgabe der ballistischen Randbedingungen auf die Bewegungen der Kanone übertrugen. Jedoch:

> »Mechanical directors were complicated, expensive and hard to produce in adequate quantity, and the accuracy of some types left much to be desired. They required a large amount of high precision workmanship. Since motions of the plane in the sky must be skaled down enormously to be represented inside the computing device, tiny errors in the construction of the mechanism or even particles of dust could cause serious errors. An electrical director was somethin new.« (Baxter; 1968:212 f.)

Dies galt insbesondere, weil seit dem ersten Weltkrieg die Flugzeuge ihre Geschwindigkeit, Flughöhe, Operabilität und Panzerung vervielfacht hatten.

Ein elektrisches Kommandogerät war tatsächlich etwas Neues, zu neu, als daß Army und Navy der USA die Idee widerstandslos akzeptiert hätten (was Baxter in seiner offiziellen NDRC-Geschichte allerdings nicht erwähnt). Die Integration nachrichtentechnischer Methoden und Techniken in dieses traditionell mechanisch-orientierte Gebiet war, wie oben gezeigt, nur durch die problemorientierte US-Kriegsforschungsorganisation des NDRC möglich, die über die Grenzen der traditionellen Institutionen und ihrer Methodenbereiche hinweg tätig sein konnte. Wieners Vorhersagetheorie, wie auch das elektrische Kommandogerät M-9 waren Resultate dieser Integration von Feuerleitung und Nachrichtentechnik durch die Organisation des NDRC.

Von den insgesamt bis 1943 in den USA entwickelten 25 Typen experimenteller Kommandogeräte, 11 Typen »rechnender Sichtgeräte« und 23 Typen von Kommandogeräten unter Leitung des NDRC[807] war das M-9-Gerät sicher der spektakulärste Fortschritt.

Es war ein elektrisches Vorhersage-Netzwerk, das ein direktes funktionelles Abbild der bisherigen mechanischen Systeme der Army darstellte, so daß ein direkter Vergleich im selben operativen Zu-

---

[804] Jones (1946:118)
[805] Hazen (1946:5)
[806] Douch (1947:186 f.)
[807] Liste; 30.1.1943, NAA 227, OSRD, Div. 7, Directors, General Corr.

sammenhang zwischen mechanischer und elektrischer Technik ermöglicht wurde. Mit Hilfe von Potentiometer-Bewegungen wurden mechanische Größen analog in elektrische umgewandelt[808] und dann einfache trigonometrische Gleichungen zur Positionsvorhersage gelöst. Die resultierenden Spannungen konnten mittelbar zur Steuerung der Servomechanismen benutzt werden.

Von der Kommandogerät-Typenreihe M-8, M-9, M-10, M-12, M-13, M-14, die von den BTL entwikkelt worden war, war das Modell M-9 für Standardisierung und Produktion ausgewählt worden,[809] als Typ »T-10«. Der erste Typ wurde am 23.12.1942 ausgeliefert. Wegen der inzwischen erfolgten Beschleunigung des Luftkrieges wurde parallel eine alternative Version des M-9 (unter der Bezeichnung T-15) in den BTL entwickelt – von einer separaten Gruppe um H. Bode, nachdem es sich als undurchführbar erwiesen hatte,

»to have one team working on two competing systems« (Fagen; 1978:152).

Aufgabe der Gruppe um Bode war es dabei, eine Analyse der Möglichkeit ,

»of adding second derivative prediction to the M-9« (Bode; 13.11.1944)[810]

vorzunehmen.

Das hieß, neben der *Positions*- und *Geschwindigkeitskoordinate* auch die *Beschleunigung* als Variable der Vorhersage einzubeziehen. Das erste T-15-Modell war im November 1942 fertiggestellt und nach ausgiebigen Tests entschied das Anti-Aircraft Board sich am 15.4.1943 für die Standardisierung des T-15.[811]

Es wurde dennoch schließlich nicht eingesetzt, weil seine technischen Vorteile die unmittelbare Einsatzbereitschaft des T-10 nicht aufwiegen konnten.

Von Ende 1942 bis Ende des Krieges produzierte Western Electric insgesamt Geräte im Wert von 22 Mio. $.[812]

Zu einer Zeit, als nach dem Urteil der Watson-Watt Kommission[813] die amerikanische *Operationsorganisation* der Radar- und Feuerleitsysteme noch völlig im Argen lag, waren die ersten Voraussetzungen für eine *Automatisierung* der Flugabwehr bereits geschaffen. Dies unterstreicht die unterschiedlichen Entwicklungsprogramme, auf die man sich in Großbritannien und den USA konzentriert hatte.

Das M-9-Gerät wurde weithin mit großem Erfolg eingesetzt,

»and has proved itself one of the great scientific triumphs of the war« (Baxter; 1946:214)

Bis Anfang 1944 waren etliche hundert M-9 nach Großbritannien gebracht worden, 235 in den USA für Training und Verteidigung im Einsatz, 86 in Europa und in den afrikanischen, pazifischen und sonstigen Kriegsschauplätzen 178 Geräte.[814]

Im selben Jahr begann der Einsatz des M-9 in Kombination mit dem Mikrowellenradarsystem SCR-584 und dem Annäherungszünder, was zu Abschüssen von dann 80% der V-1-Raketen über London

---

[808] Douch (1947:186 f.)
[809] Fagen (1978:146)
[810] in NAA FL 2
[811] Fagen (1978:154)
[812] Baxter (1968:214)
[813] Signal Corps (1957:95), britische Kommission von Radar-Experten, die die Leistung der amerikanischen Systeme im praktischen Betrieb kritisch analysierte, 1942.
[814] W. Weaver (10.3.1944), NAA FL 16

führte.[815] Im Herbst wurden 500 derartige Systeme in der Normandie angelandet und sorgten entscheidend für baldige alliierte Luftüberlegenheit. Weniger als 100 Schuß pro Abschuß brauchten derartige Systeme,[816] eine ungeheure Leistungssteigerung gegenüber den mehreren tausend Schuß herkömmlicher Systeme der Flugabwehr, was real auf eine Vervielfachung der Feuerkraft hinauslief.

Es gab zwei Situationen, wo das M-9-Gerät und die im Zusammenhang mit dessen verbesserter T-15-Version entwickelte geometrische Vorhersagetheorie (Bode, Shannon, Blachman u.a.) in Konkurrenz zu anderen Geräten und Theorien bewertet werden mußte, die *allgemein wissenschaftlich von weit größerem Interesse* waren, bei der Lösung des *speziellen technischen Problems in einem gegebenen Effizienzbereich* jedoch unterlagen: die Wiener'sche statistische Vorhersagetheorie und das digitale Kommandogerat der Radio Corporation of America (RCA).

Erste bildete das Kernstück der später mit der Informationstheorie z.T. konkurrierenden statistischen Kommunikationstheorie und ist daher von Interesse. Der Abbruch des RCA-Projektes zur Entwicklung eines digitalen Kommandogerätes bereits 1942 ist bezeichnend für den Einfluß spezieller Effizienzanforderungen auf die Entwicklung analoger versus digitaler Techniken und muß im Zusammenhang mit der *Durchsetzung* der ersten großen digitalen Computer in den ballistischen Rechenzentren gesehen werden.

2.3.3 VORHERSAGETHEORIEN

Die wienersche statistische Vorhersagetheorie wurde als wissenschaftlich bedeutsam erkannt, leistete technisch jedoch nicht mehr als praktisch bereits realisierbare, theoretisch weniger elegante Methoden.

Da später nicht mehr ausführlich auf die Datenglättungs- und Vorhersagetheorien Norbert Wieners und von Shannon, Bode und Blachman eingegangen wird, seien sie hier, vor allem unter dem Aspekt ihrer Anwendbarkeit auf Feuerleitprobleme diskutiert. Beide Theorien, die 1946 im offiziellen »Technical Summary Report« der NDRC Abteilung für Feuerleitprobleme (Division 7) als[817]

> »the two most important efforts of the division in fire-control theory« (Hazen; 1946:7)

bezeichnet wurden, gründeten sich auf die Übernahme elektrotechnischer und nachrichtentechnischer Methoden in das Feuerleitproblem. Die von Blackman, Bode und Shannon erstmals 1946 ausführlich dargestellte Methode (im weiteren B-B-S) war im wesentlichen eine Verallgemeinerung der bis dahin üblichen und in mechanischen wie auch elektrischen Geräten wie dem M-9 realisierten geometrischen Extrapolation. Zusätzlich zu diesem Verfahren der Vorhersage machte sich mit der steigenden Geschwindigkeit der gegnerischen Flugzeuge eine Glättung (»smoothing«) der eingehenden Positionsdaten aus den Ortungsgeräten erforderlich:

> »The intimate relation between data smoothing und target mobility explains why the data smoothing problem is relatively new in warfare. The problem emerged as a serious one only recently,with the introduction of new and highly mobile military devices. The airplane is of course the archetype of such mobile instruments.« (Blackman, Bode, Shannon; 1946:71)

Der technische Grund dafür war die weitaus kürzere Zeit, die für den Extrapolations- und Interpolationsvorgang zur Verfügung stand und den Einfluß der Fehler nicht mehr nur auf die Positionsangabe, sondern nun auch auf Geschwindigkeits- und Beschleunigungsangabe und somit auf die Schätzung der zukünftigen Position.

---

[815] W.Weaver (5.9.1944), NAA FL 17
[816] Baxter (1968:214)
[817] in NAA 2

Für die geometrische Vorhersagemethode waren daher Datenglättung und Vorhersage zwei, wenn auch eng miteinander verknüpfte, so doch *trennbare* Probleme (B, B, S; 1946:73), wogegen sie in Wieners statistischer Theorie als *ein einziges Problem* aufgefaßt wurden und mit Hilfe eines einzigen Gerätes gelöst werden konnten. Während der statistischen Methode die Annahme zugrunde lag, daß die Meßdaten eine statistische Zeitreihe darstellten, aus der mit Hilfe der Autokorrelationsfunktion[818] ein »Signal« ermittelt werden konnte, nahm die B-B-S-Methode an, der Bahnverlauf des Ziels sei

> »specified by a set of geometrical parameters corresponding to components of velocity, acceleration, etc.« (B,B,S; 1946:73)

Die Datenglättung nach dieser Methode sollte zuverlässige Werte für diese Parameter geben. Dieses Verfahren hatte den Vorteil, herkömmlichen geometrischen Vorhersagegeräten oder -Netzwerken in den Kommandogeräten vorgeschaltet werden zu können, d. h. deren Eingangsdaten lediglich besser aufzuarbeiten, nicht aber, wie die statistische Methode, vollständig neue Geräte zu verlangen.

Da es ökonomischer war, existierenden Geräten, die einem früheren Stadium der Zielbeweglichkeit angepaßt waren, ein Zusatzgerät für die Anpassung an die Probleme beizugeben, die sich mit erhöhter Zielbeweglichkeit ergeben hatten, statt ein von Grund auf neues integriertes Gerät zu entwickeln, erwies sich auch die Theorie, die dem Rechnung trug, als die technisch wirksamere. Unter anderem war zunächst dies auch ein Resultat der Tatsache, daß die Kommandogeräte (als *analoge* Computer) in sich selbst neuen Vorhersagetheorien nicht angepaßt werden konnten.

Auf einer Konferenz am 4.6.1941 kamen die BTL-Gruppe um Hendrik Bode und die MIT-Gruppe um Norbert Wiener erstmalig zusammen, um ihre beiden Datenglättungs- und Vorhersagetheorien zu diskutieren und deren mögliche Anwendungen.[819] Die geometrische Methode von Blackman, Bode und Shannon (1946) hatte sich aus der Entwicklung einer verbesserten Version des M.9-Kommandogerätes durch die BTL ergeben[820] und war dabei bis in das Stadium ihrer praktischen militärischen Testung gelangt. Wieners Methode stellte eine Anwendung ihn bereits seit langem beschäftigender Methoden der Statistik, Fourier- und Integraltheorie dar.[821]

Daher war das Gerät, das Bode auf dieser Konferenz präsentierte,

> »based upon the fundamental urgency of the situation and consequently had intentionally been restricted to functions that could be accomplished by means of *apparatus and tools already available.* No account was taken of changes in course performance or curvature, and hence no statistical approach was necessary; the apparatus was a purely trigonometric based upon approach.« (Konferenzbericht; 4.6.1941:3)[822]

Dagegen stand das Entwicklungsprogramm der MIT-Gruppe (Wiener, Bigelow) auf einer viel allgemeineren Grundlage:[823]

> »Bigelow emphasized that the prime objective of the MIT apparatus was to provide an apparatus capable of making an *optimum prediction under any circumstances.«* (ebd.)

Obwohl das Wiener'sche Vorhersagegerät in einem ersten hypothetischen Testaufbau 1942 Leistungen erbrachte, die Warren Weaver unter dessen Leitung dieser NDRC-Kontrakt mit Wiener stand, zu dem Ausruf veranlaßte,

---

[818] Integral, daß die Abhängigkeit einander folgender Werte einer statistischen Zeitreihe voneinander beschreibt.
[819] in NAA W 10
[820] Blackman, Bode, Shannon (1946:72)NAA 2
[821] Masani (1946) Ebenfalls in diesem Sonderband über Norbert Wiener eine vollständige Publikationsliste und andere biografische Artikel.
[822] in NAA W 10. Hervorhebung - F.H.
[823] in NAA W 10. Hervorhebung - F.H.

»their statistical predictor accomplishes miracles«

und dem Versprechen,[824]

»to bring along a hack saw on the next visit and cut through the legs of the table to see if they do not have some hidden wires somewhere« (Weaver; 1.7.1942)

ergab ein Test mit realen Positionsdaten, über den Wiener 1943 an Weaver berichtete, keinerlei bessere Ergebnisse, als mit einem Gerät, das nach der geometrischen Methode mit geglätteten Daten arbeitete.[825] Erst bei noch komplizierteren Kurvenverläufen, so Wieners Annahme, würde sich der Vorteil seiner Methode erweisen, diese Voraussetzung sei jedoch »too distant to be significant in the present war« (Wiener an Weaver; 15.1.1943:5). Im selben Jahr wurde das Wienersche Projekt beendet, da es keine wesentlichen Leistungsverbesserungen versprach und kompliziertere Flugverläufe, die mit den anderen Geärten nicht zu bewältigen gewesen wären, von den Streitkräften nicht erwartet wurden.[826]

Und obwohl es 1946 – wie auch bereits früher – klar war, daß Wieners Theorie »important applications to other statistical problems« haben würde (McKenzie, Weaver, Stibitz; 1946:56), schien es noch nach dem Krieg zweifelhaft,

»whether this beautiful mathematical theory has direct practical application to the problem of predicting the future position of aircraft targets.« (ebd.)

Wichtigstes praktisches Resultat der Theorie sei das Ergebnis gewesen, daß auch diese grundlegende Theorie nicht zu wesentlich besseren Ergebnissen geführt hätte als herkömmliche Methoden, d. h. einen *Maßstab für deren Qualität* gegeben zu haben. Die klassische Arbeit Wieners über »The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Appl ications« war als »Nebenprodukt« dieser Theorie entstanden und beschäftigte sich vor allem mit anderen Anwendungsmöglichkeiten.

An dem Fall dieser beiden in den BTL und am MIT unternommenen Forschungsprogramme lassen sich gut einige Unterschiede eines »wissenschaftlichen« und eines »technischen« Theorieprogramms verdeutlichen, von denen in einer gegebenen Situation das eine als *»wahr«* (sprich *einfach, elegant und tiefgehend),* das andere aber als *wirksam* erschien. Das eine bot eine optimale Lösung für eine ganze Klasse verwandter Probleme an, löste jedoch die in mehr als nur der theoretischen Dimension gestellte Aufgabe nicht, das andere bot eine optimale Lösung für einen komplexen, aber begrenzten Effizienzbereich (vorhandene Bauteile, Zeit, erforderliche Genauigkeit) ,war jedoch darüber hinaus später von geringerer Bedeutung.

Eben hier liegt auch einer der Unterschiede zwischen Industrie- und Hochschulforschung.

2.3.4 DIGITALES KOMMANDOGERÄT

Ein digitales Kommandogerät wurde als technisch wesentlicher Schritt erkannt, war jedoch mit den bereits verwendeten analogen Geräten nicht konkurrenzfähig. Seine Entwicklung wurde eingestellt, so sehr man auch nach geeigneten Verwendungszwecken suchte, sie in Gang zu halten.

Im Jahr 1942 fiel mit der Ausreifung des (analogen) M-9 eine Entscheidung gegen ein *digitales* Kommandogerät. Zum 15.3.1943 wurde der einzige Auftrag des NDRC für einen digitalen »Precision Fire

---

[824] NAA W 6

[825] Bei einem Kurvenflug brachte die »Bode-Methode« mit 10 Sekunden Glättungsintervall bei insgesamt 165 Sekunden 22 Treffer, die statistische Methode 23, bei geradem Flug waren es sogar 55 bzw. 49 Treffer. (Wiener an Weaver; 15.1.1943:4) NAA W 14

[826] McKenzie, Weaver, Stibitz (1946:56), NAA 2

Control Computer«, den »Discrete Number Calculator« auf der Basis des dualen Zahlensystems der Radio Corporation of America abgebrochen.[827]

Wieder war man sich über den *wissenschaftlichen Wert* eines solchen digitalen elektronischen Rechners im klaren, sein *praktischer Nutzen* zu dieser Zeit und für den speziellen Zweck der Feuerleitung, d. h. diesen speziellen Effizienzbereich allerdings, lag nicht genügend über dem des bereits entwickelten M-9.[828]

Es entspann sich eine recht ausgiebige Diskussion zwischen den NDRC-Abteilungen für Feuerleitung (Division 7) und Physik (Div.17) sowie dem Applied Mathematics Panel zur Rettung des Projektes. Man bemühte sich eingehend, für dieses »beautiful piece of work« (Hazen; 6.2.1943:2) praktische Verwendungsmöglichkeiten zu finden. In einem entsprechenden Schreiben des Chefs der Div.7, H. Hazen, an den Chef der Div. 17 (P. Klopsteg) hieß es in diesem Zusammenhang:

> »Although the development has ceased to be cogent to fire control, it has and is yielding some very beautiful results which it seems should have some significant applications in other fields, I am writing you therefore to tell you briefly what has been done there to see whether or not your Division would find it pertinent to some of its problems. Should this be the case you might well see fit to continue this work.... our entire Division is exceedingly reluctant to see a development which is scientifically so beautiful and so promising dropped at this point, though cold reason tells us that we cannot justify the expenditure of additional Government funds on the basis of fire control at this time.« (Hazen; 6.2.1943)

Bereits am 16.4.1942 war es in New York zu einer »Conference on Electronic Fire Control Computers« gekommen, an der Interessenten von Army, Navy, Radio Corporation of America, Eastman Kodak, Bell Telephone Laboratories, Massachusetts Institute of Technology (u.a. S.H. Caldwell) und der Sektion D-2 (Feuerleitung) des NDRC (u.a. T.C. Fry, G.R. Stibitz, W. Weaver) teilnahmen.[829]

Dabei diskutierte man die Eigenschaften verschiedener Bauweisen (mechanisch, elektrisch, elektronisch) und Funktionsweisen (analog und »numerisch«) danach, ob die entsprechenden Geräte dann

> »a) more accurate, b) more rapid, c) more easily produced, d) more reliable and more easily maintained« (Konferenz; 16.4.1942:1)

sein würden. über Vorzüge und Nachteile »numerischer« Computer war man sich dabei im klaren, weder war es jedoch sinnvoll, in dem speziellen Anwendungsbereich die *Genauigkeit* eines Computers über die durch Eingangsdaten, Datenübertragung, Servomechanik und Geschützstreuung gegebenen Grenzen der Genauigkeit des ganzen Systems hinaus steigern zu wollen, noch die *Geschwindigkeit*, da ein gewisses Zeitintervall zur Datenglättung ohnehin vonnöten sei.

Kurz nach dieser Konferenz stellte George Stibitz die Vorzüge digitaler Computer in einem Memorandum, Digital Computation for A(nti) A(ircraft) Directors« (23.4.1942)[830] noch einmal zusammen.

Während bei analogen Computern deren lineare Dimensionen umgekehrt proportional mit den zugelassenen Fehlern wachsen müßten, sei es bei digitalen nur der Logarithmus des zugelassenen Fehlers, mit dem umgekehrt proportional Volumen des Gerätes und Arbeitszeit wachsen würden.[831]

Das Stellensystem der Zahlenschreibweise machte die besondere Bedeutung des Logarithmus einer 10’er oder 2’er Potenz als die Zahl der Stellen bei digitalen Computern offensichtlich. Auch in diesem

---

[827] H. Hazen an P.E. Klopsteg (6.2.1943), NAA C 5
[828] W. Weaver (Juni 1943), NAA 24
[829] in NAA C1
[830] G.R. Stibitz (23.4.1942) in NAA C2
[831] ebenda; 5

Punkt zeigten digitale Nachrichtenübertragungs und Nachrichtenverarbeitungstechniken enge Verwandtschaft.

Mit dieser Arbeit prägte Stibitz sehr wahrscheinlich 1942 den Begriff des »digital Computer« als Gegenstück zum analogen – und zwar in bewußter Absetzung von dem bis dahin gelegentlich verwendeten Begriff des »pulse computer«, der die Verwandschaft zwischen Nachrichtenverarbeitung und -übertragung noch eher betonte.[832] Ebenso ist bemerkenswert der hier bereits verwendete Begriff der »binary places«, heute als »Hardware« binary digit bezeichnet – in Anlehnung an die Nachrichteneinheit »bit« der Informationstheorie.

In einem weiteren Memorandum, »Computation« (8.9.1944)[833] faßte Stibitz später noch einmal die Vorteile digitaler Systeme zusammen, besonders der von ihm auf der Basis von Telefonrelais konstruierten »Relais Interpolatoren«. Er betonte jetzt vor allem, daß die Teile eines solchen Systems »standard devices in large quantity production« seien (:1), simple Einzelelemente, deren Wartung, Austausch und Produktion einfach sei und deren Anordnung so gestaltet werden könne, daß sie mögliche Fehler selbst feststellen könnten:

> »used in properly designed circuits (they) can easily be arranged to check itself at each step of the computation before going on to the next step« (Stibitz; 1944:3)

Damit bezog er sich auf den »two-out-of-five« Code zur Fehlerfeststellung, einer wichtigen Vorstufe zu den fehlerkorrigierenden Codes, die im Zusammenhang mit Informations- und Codierungstheorie von Hamming und Shannon an den BTL entwickelt wurden (s.u.).

2.3.5 SERVOMECHANISMEN

> »the lesson of the war as regards the Army servo systems is that if we are to improve our efforts we have to design systems as a whole.« (H.S. Young; 1947:204)

Die Elektrifizierung der Servotechnik brachte die Anwendung der in der Nachrichtentechnik bereits verwendeten theoretischen Methoden der Stabilitätsanalyse rückgekoppelter Systeme in weite neue Bereiche.

Servomechanismen und Fernsteuerung[834] (»remote power control«), die dritte wichtige Komponente in Feuerleitsystemen, deren erste Anwendungen in den zwanziger Jahren die Ausrichtung der Suchscheinwerfer nach den Positionsangaben optischer und akustischer Ortungsgeräte waren, blickten auf eine recht lange technische Entwicklung zurück. Auch in diesem Bereich brachte der Zweite Weltkrieg eine weite Verbreitung der elektrischen Servosysteme – die beispielsweise im Bereich kleiner Leistungen in Flugzeugen nach 1939 die bis dahin dominierenden pneumatischen Systeme verdrängten. Im Bereich großer Leistungen (mehrerer Kilowatt) herrschten dagegen noch bei Kriegsende hydraulische und gemischte Systeme vor.[835] Eine ungeheure Vielfalt von Servomechanismen in unterschiedlichsten Anwendungen und unterschiedlichster Bauweise wurde entwickelt, in den verschiedensten Zusammensetzungen elektrischer, hydraulischer und pneumatischer Übertragungs- und Verstärkungstechniken.[836]

---

[832] ebenda: 1
[833] NAA C 3
[834] Mechanismen hydraulischer, pneumatischer Kraftsteuerung und Verstärkung 59 M.J.Ford (1947:253) und A.H. Hall (1947:256)
[835] M.J.Ford (1947:253) und A.H Hall (1947:256)
[836] W. Weaver an M.Kelly (12.4.1943), NAA FL 14

In einer Übersicht über die Leistungen der Servomechanismen der britischen Royal Navy im Krieg wurden 1947 14 Anforderungen der *Leistung, Herstellbarkeit, Operabilität* und *Kompatibilität* genannt, denen derartige Servo's Rechnung zu tragen hatten.[837]

Mit der intensiveren Elektrifizierung von Servotechnik und Fernsteuerung fanden auch hier Rückkoppelungstheorien, wie die Nyquists[838] (Stabilitätskriterium bei der Gegenkopplung elektrischer Verstärker) zuerst direkte Anwendung auf elektrische Systeme dieses Bereiches und dann auch erweiterte auf gemischte, mechanische oder hydraulische Verstärker.[839] Nach dem Krieg begegneten sich auf dieser Basis Prozeßkontrolle chemischer oder anderer Herstellungsverfahren und die Theorie der Servomechanismen.[840]

Der technische Trend der Kopplung verschiedener Servomechanismen ging in Richtung auf die Automatisierung.

Die ersten elektrischen »Fire Control Transmissions« oder »Data Transmissions«, wie sie bereits 1901 im »Royal Naval Torpedo Manual« verzeichnet waren, basierten auf der damaligen Technik der Telegrafie.[841] Die gemessenen Positionsdaten wurden als Zeichen oder Einheiten übertragen, abgelesen und nach diesen Dreh- oder Steigungswinkel von Suchlichtern oder Kanonen eingerichtet.

Dieses Zeichenübertragungssystem verlangte jedoch ein beträchtliches Maß an Ausbildung, bzw. es war eine ständige Fehlerquelle für nicht hinreichend ausgebildete Operateure. Einer der ersten »steps towards the use of servo« (Bell; 1947:222) war die Einführung der »follow-the-pointer«Methode der Operation, bei der der Operateur nicht die Werte eines Zeichensystems zu lesen und übertragen hatte, sondern lediglich einen Zeiger (der die Position der Kanone anzeigte) mit einem anderen (der die übertragenen Peildaten anzeigte) in Deckung zu bringen. So entstanden elektrische *Regelsysteme* unter Einschaltung des menschlichen Operators aus den *Übertragungssystemen* (Telegrafie), die die Feuerleitung bis in den Zweiten Weltkrieg hinein dominierten. Solange die Geschwindigkeiten der Flugzeuge relativ gering und genug Operateure vorhanden waren, reichten die Leistungen dieser Methode aus.[842]

Bis 1940 waren immerhin alle schweren Flugabwehrgeschütze nur von Hand einstellbar[843] und bis zu 14 Operateure in einem Flugabwehrfeuer-System beschäftigt,

> »each of whom had a very good chance of affecting adversely the operation carried out by some of his colleagues«. (Porter; 1947:202)

Dies war die Situation,von der 1940 die Operationsforschung in Großbritannien ihren Ausgang nahm.

Mit fortschreitendem Krieg wurden sowohl die Ziele immer beweglicher als auch der Personalmangel immer spürbarer und die vor allem in den USA mit der M-9-Entwicklung vorangetriebene Automatisierung der Feuerleitung war der einzige Ausweg.[844]

In Großbritannien, wo man sich statt dessen auf die Operationsanalyse und -verbesserung konzentriert hatte, wurden mit dem Einsatz dieser Geräte zuvor geäußerte Bedenken gegen die Automatisierung widerlegt:

---

[837] Gairdner (1947:221)
[838] H. Nyquist (1932)
[839] Davon sprechen die Beiträge auf der Konferenz der (britischen) Ins ti tution of Electrical Engineers über »Automatic Regulators and Servo Systems« in J.IEE, 94 IIA; 1947 eine deutliche Sprache.
[840] Dies zeigte sich ebenda in der Diskussion zum Tagungspunkt »industrial applications« obige Quelle, 1947, 1:35
[841] J.Bell (1947:222)
[842] Douch (1947:181)
[843] ebenda: 179
[844] Bush (1946:v), NAA 2

»The fears at times expressed that the saving on man-power on the gun would be more than counterbalanced by the additional production and maintenance commitment imposed by the complicated mechanisms was not, in fact, realized« (Douch; 1947:181)

Unter anderem war es dieser ungeheure Druck auf die effektive *Einsparung* von Personal, die zu Beginn der Automatisierung für sie sprach – wie man heute einzusehen beginnt, ist es keineswegs gesagt, daß sie in anderen Effizienzbereichen stets auch die optimal angepaßte Technik ist.

Ähnlich wie in der Nachrichtentechnik das Telefon (als analoge Technik) den Telegrafen, aus dem es hervorgegangen war, in einer Vielzahl seiner Funktionen ablöste – wegen seiner Benutzbarkeit durch jedermann, löste die analoge Steuerungstechnik der »follow-the-pointer«-Methode die ältere auf der Telegrafie basierende Methode ab. Schließlich übernahmen analoge Vorhersagemechanismen und Netzwerke direkt die Einrichtung der Geschütze.

2.4 DIE FERNMELDETECHNIK

»Speed, not cost is the dominant factor« (US-Signal Corps; 1957:175)

VORBEMERKUNG

Das Neue an der militärischen Fernmeldetechnik und ihrer weiteren Entwicklung während des Krieges war weniger der absolute Hochdruck, mit dem an ihr gearbeitet wurde, noch ihr reines ungeheures Ausmaß, sondern vielmehr

- die ungeheure *Vielzahl spezieller Verwendungszwecke* mit eigenen Effizienzbedingungen und

- deren ständiger Wandel in der Zeit.

Gab es in der kommerziellen Nachrichtentechnik zwischen den Weltkriegen gewissermaßen einige wenige langfristig recht stabile große Anwendungsbereiche und Forderungen der Effizienz, so brachen diese im Krieg in die vielfache Zahl von Teilbereichen auseinander, durch Geheimhaltung der Forschung voneinander abgeschirmt. In keinem anderen der hier angesprochenen Bereiche militärischer Technik war die *Verschiebung* der Effizienzanforderungen so deutlich wie von kommerzieller zu militärischer Nachrichtentechnik. Verschoben hatten sich die Effizienzforderungen vor allem bezüglich des Verhältnisses von (Kosten)aufwand und Leistung. Man vergleiche den obigen Leitsatz des Signal Corps der US Armee mit den in Teil II zitierten Leitprinzipien kommerzieller Nachrichtentechnik.

Diese stellten die Ausgewogenheit von Kosten, Leistung, Qualität in den Vordergrund. Im Krieg zählte vor allem die Leistung – nicht nur Geschwindigkeit, sondern in jeder Hinsicht in einem speziellen Effizienzbereich. Die sich wandelnden Effizienzanforderungen schlugen sich daher weit »ungebremster« im technischen Design nieder. Wie für Technik und Industrie des Krieges (in den USA) allgemein, galt der Slogan

»In this war ... the nation is forced to do many ›uneconomic‹ things« (Fortune; 1942:318)

natürlich auch für die Nachrichtentechnik. Sie kennzeichnete eine Grundhaltung, die weit eher der Arbeitsweise des Wissenschaftlers als der des Technikers entsprach:

»The practical technical man of industry, long trained to economic ends, inevitably moves in this emergency within a hesitating circle of inhibitions. Without losing the great benefit of his practicality, there is needed as counterfoil the independent scientist and engineer who doesn’t

pay much attention to economics in his main drive to get something – principle, process or engine – that works.« (Fortune; 1942:318)

Die unter diesen Bedingungen notwendigerweise größere Rolle der Wissenschaft bestimmte die in diesem Teil besprochenen technischen Trends der Nachrichtentechnik.

An der Entwicklung der Fernmeldetechnik des Zweiten Weltkrieges, die keine grundsätzlichen Neuerungen wie Telegrafie oder Telefonie mit sich brachte,[845] sind hier drei Aspekte von besonderem Interesse:

- die Entwicklung vielfältiger *kompletter Systeme*, die den diversen taktischen geographischen und technischen Bedingungen angepaßt waren

- die praktische Realisierung der *Impulstechniken*

- der Aufbau weltweiter *Nachrichtennetze*, die neue Bedeutung der *Telegrafie* und der *Kryptografie.*

Theorien digitaler Systeme lagen später genau in der Bahn dieser Trends.

2.4.1 STRATEGISCHE NACHRICHTENNETZE

»the Signal Corps is now the focus of applications to war of a new science«

(H.L. Stimson, US-Kriegsminister, 23.4.1942)[846]

Die Fernmeldenetze erreichten globale Ausmaße. Wegen ihrer besonderen Struktur in der militärischen Nutzung konzentrierte sich der Verkehr in einzelnen Zentren.

Die Fernschreibtechnik (Telegrafie) gewann eine Bedeutung, wie sie sie zuletzt in den zwanziger Jahren gehabt hatte.

In den interkontinentalen Verbindungen tauchten Leistungsanforderungen auf, wie sie zum Teil bereits in der klassischen Telegrafie gegolten hatten. Wichtigste Leistungsanforderung aber war die nach Sicherheit vor gegnerischer Entsch üsselung eigener Botschaften. Versuche der kryptografischen Verschlüsselung auch der Telefonie ließen Techniken der Digitalisierung der Sprachübertragung zu neuer Bedeutung gelangen.

2.4.1.1 BETRIEB

Es ist schwer, direkte Vergleichszahlen des militärischen Nachrichtenverkehrs im Zweiten Weltkrieg mit dem in der Zeit zwischen den Weltkriegen in den zivilen kommerziellen Netzen anzugeben, da er, in verschiedenen und verschiedenartigen Netzen ablaufend, nur in unterschiedlichen und was den militärischen Nachrichtenverkehr angeht, nur schwer zugänglichen Statistiken erfaßt wurde. Einige wenige Angaben lassen jedoch bereits deutliche Schlüsse zu.

Mit der 1942 beginnenden ungeheuren Ausdehnung der Operationen von US-Armee, Luftwaffe und Marine[847] dehnten sich im gleichen Maße deren Nachrichtennetze über die ganze Erde aus. So unter-

[845] vom Radar hier abgesehen
[846] zit. nach Signal Corps (1957:59)

hielten die USA im Zweiten Weltkrieg das bei weitem größte System von globalen Nachrichtennetzen.[848] Deren für lange Zeit größtes und stets wichtigstes, das Army Command und Administrative Network (ACAN) wurde vom Army Communication Service des Signal Corps der US-Army installiert, gewartet und betrieben.[849] Es verfügte bereits 1942 über 46 Übersee-Kabel- und -Funkverbindungen[850] die zum Teil eigens eingerichtet, zum Teil von kommerziellen Betriebsunternehmen wie AT&T, RCA, Postal Telegraph & Cable, MacKay Radio & Telegraph, Western Union Telegraph, Press Wireless, Globe Wireless etc.[851] gemietet wurden. Insgesamt waren schließlich bei Ende des Krieges in das ACAN 163 Mio.$ investiert worden, das Dreifache des Wertes der internationalen Verbindungen aller dieser kommerziellen Gesellschaften zusammen.[852] Es erstreckte sich insgesamt auf 822.000 Meilen Funk- und Drahttelegrafie.Seit 1943 wurden täglich etwa 50 Millionen Worte in dem Netz bewegt.[853]

Bereits Ende 1942 existierten eine Reihe weiterer internationaler Nachrichtennetze besonders der Army Air Forces der USA wie das Army Air Forces Ferrying Command Network, Air Service Command Teletypewriter, Army Air Forces Statistical Control, Second Air Force Tactical Network, Army Airways Communications System (AACS) und andere.[854] Die Luftwaffe war besonders wegen der weltweiten Sammlung meterologischer Daten und der Koordination der Flughafenkontrollen auf internationale Netze angewiesen,[855] deren größtes das AACS war, ein weltweites Funk-Fernschreiber-Netz, das bald das ACAN an Größe übertraf.[856] Es stützte sich bei Ende des Krieges auf 1000 Relaisstützpunkte in 48 US- und 55 anderen Staaten.[857]

Was jedoch den *Nachrichtenverkehr* anging, stand das ACAN als *das* strategische Netz, mit seiner Zentrale WAR im Washingtoner War-Department an erster Stelle. Das Zentrum dieses Netzes, WAR, hatte im Juni 1942 550.230 Worte, Juni 1943 1.868.751 Worte am Tag und zur Verkehrsspitzenzeit, am 8.8.1945 9,5 Millionen Worte zu bewältigen,[858] was Ver- und Entschlüsselung einschloß. Und das allein in *einem Zentrum* - eine Zahl, die also ganz anders zu bewerten ist, als die Nachrichtenflußangaben für die kommerziellen Nachrichtensysteme, die als symmetrische Netze organisiert waren, die kein Zentrum kannten, während die militärischen Systeme auf der Kommandostruktur beruhten.

Im September 1943 wurde in Nordafrika vom US-Signal Corps das erste völlig neue geschlossene Nachrichtennetz fertiggestellt, das europäische Netz war im Juli 1945 vollständig.[859]

Es reichte von Berlin über München, Frankfurt bis Paris, Brüssel, London und Washington. Es enthielt 400.000 Meilen Hauptlinienlänge von Telefonstrecken[860] und benutzte wiederhergestellte kommerzielle Netze, militärische Kabel- und Funkverbindungen. Es »greatly exceeded any pre World War II plans or expectations« (Glezen; 1946:1160). Als ein Beispiel des Einflusses militärischen Nachrichtenverkehrs auf den Verkehr in kommerziellen Netzen mag die Entwicklung in den USA genügen. Dort hatte der Einfluß des Krieges

> »a tremendous effect on traffic volumens, notably long distance, in many places all over the United States« (Steelman; 1942:142).

---

[847] besonders im Pazifik nach dem Angriff der Japaner auf Pearl Harbor und in den späteren Operationen in Nordafrika und Europa. Siehe Signal Corps (1957:277 und 436)
[848] So z.B. R.M. Leighton (1978:599)
[849] Ingles (1945:68)
[850] Signal Corps (1957:432)
[851] Signal Corps (1957:427-429)
[852] Signal Corps (1957:433)
[853] Stoner (1945:280)
[854] Signal Corps (1957:434)
[855] ebenda: 277, 437
[856] ebenda: 450, 437
[857] McClelland (1946:46:76)
[858] nach den Angaben in Signal Corps (1957:442) und Kahn (1976:575) 81 Putnam (1946:1161)
[859] Putman (1946:1161)
[860] Glezen (1946:1160), dies betraf die reine Fernlinienlänge

So stiegen beispielsweise in einer Vermittlungsstelle die Zahl der Ferngespräche pro Tag um 480% und die der Ortsgespräche pro Tag um 64%.[861]

Daneben bestand ACAN auch innerhalb der USA aus großen Netzteilen ausschließlich militärischer Nutzung. Von Mitte 1942 bis Anfang 1943 stieg beispielsweise die Zahl der militärischen TWX-Stationen (»Teletypewriter Exchange«-Fernschreibsystem der AT&T) von 408 auf 1776, der Teletypestationen (Western Union Fernschreiber) von 167 auf 1.055 und der eigenen Sprechverbindungen von 440 auf 2268.[862] Die Errichtung dieser Verbindungen folgte vor allem den militärischen Notwendigkeiten und richtete sich wenig nach den ökonomischen Möglichkeiten – so kam es z. B. zu Effektivpreisen von 600 $ für eine Botschaft von San San Francisco nach Washington.[863] Mit der Zahl der festen Verbindungen, der Größe der Netze und dem insgesamt angewachsenen Verkehr stieg der Aufwand für Aufbau, Unterhaltung und Betrieb dieser Netze.

So hatte das Royal Corps of Signals, die Nachrichtentruppe der britischen Armee statt der 38.250 Mann des Ersten Weltkrieges bei Ende des Zweiten 150.000 in ihrem Dienst, betrieb 190.000 Funkgeräte und 275.000 Telefone.[864] Das Signal Corps der US-Armee mit einer Mannstärke von 370.000 für die längste Zeit des Zweiten Weltkrieges,[865] hatte statt der 2.500 separaten Eintragungen auf seiner Geräteliste im 1. Weltkrieg Ende Juni 1943 70.000[866] und bei Ende des Krieges bereits 100.000.[867]

Insgesamt hatten die USA für elektronische Geräte von Army und Air Force 5 Milliarden $ aufgewendet und zusätzlich 1,5 Milliarden $ für Radargerät.[868] Der weltweite Nachrichtenverkehr der britischen Navy erreichte während eines Jahres des 2. Weltkrieges seine Spitze mit dem 30-fachen seines Wertes von 1935 und lag noch 1945 auf dem 10fachen dieses Wertes.[869]

2.4.1.2 TELEGRAFIE

Die bereits in Teil II genannten prinzipiellen Unterschiede der Techniken Telegrafie und Telefonie waren für deren unterschiedliche Anwendungsbereiche im 2. Weltkrieg entscheidend. In den direkten Feldoperationen dominierte die Funktelefonie. Die Telegrafie dagegen dominierte bei weitem die langen strategischen Nachrichtenverbindungen wegen der Bedeutung des geschriebenen Wortes in dem Kommandonetz, das dem militärischen Nachrichtennetz zugrunde lag[870] und ihrer leichteren Verschlüsselbarkeit. So trugen Funk- und Leitungstelegrafie »far and away the bulk of World War II long distance communications«. (Signal Corps; 1957:68). Der Zweite Weltkrieg brachte die Zeit des *Fernschreibers* als einer wichtigen Nachrichtentechnik[871] in großen Netzen, eine Entwicklung, die sich in der kommerziellen Nachrichtentechnik bereits angedeutet hatte. Durch diesen wurde die Telegrafie »entirely revolutionized« (Signal Corps; 1957:63). Mit dem vollen Einsatz der USA ging ab 1942 »teletypewriter equipment ... into the field in a big way« (ebd.). 1944 wurden allein im Pentagon 44 TWX Stationen betrieben.[872] Die allgemeine Telegrammstatistik der USA weist für 1947 den gleichen hohen Stand auf, wie er zuletzt Ende der zwanziger Jahre verzeichnet werden konnte.[873] Der Aufbau des weltweiten ACAN-Fernschreibernetzes war von außerordentlicher Bedeutung für die Entwicklung

---

[861] Steelman (1942:142)
[862] Signal Corps (1957:442)
[863] ebenda: 434
[864] Hickman (1947:60)
[865] ohne das Personal der Navy! Glezen (1946:1161)
[866] Signal Corps (1957:492)
[867] Ingles (1945:46:54)
[868] Glezen (1946:1161)
[869] Haines (1947:437)
[870] darauf weist z.B. Dull (1944:18 f.) hin
[871] so z.B. Swezey (1947:307) oder Singer (1948:1398)
[872] Dull (1944:21)
[873] vergl. Tabelle 10

der Technik der Telegrafie selbst:[874] die besonderen Leistungsanforderungen für nationale- oder »Input«-Netze und interkontinentale Langstreckenverbindungen mußten unterschieden werden,[875] die Parameter Telegrafiergeschwindigkeit und Nachrichtenübertragungsgeschwindigkeit[876] oder Telegrafiergeschwindigkeit und Sicherheit mußten abgeschätzt werden. Zum Teil tauchte bei den Langstrekkenverbindungen der interkontinentalen Telegrafie wieder eine Situation wie in der klassischen Telegrafie auf, spielten Leistungsanforderungen eine Rolle, wie sie in deren Zweipunktverbindungen existiert hatten. So konnte man z. B. durch die Einführung von automatischen Schnelltelegrafiersystemen 90% Verkehrsanstieg mit nur 28% Wachstum der Zahl des Personals bewältigen.[877]

Da jedoch «the days of high-speed telegraphy have passed« (Smale; 1947:397), war das *Zeitmultiplex*, neben dem Frequenzmultiplex, eine geeignete Methode der Integration mehrerer Nachrichtenkanäle in einem Frequenzkanal d. h. der Effizienzsteigerung. Beim Zeitmultiplex brauchte die Kanalaufteilung nicht in der *Sendeanlage* (wie bei Frequenzmultiplex) zu liegen,[878] sondern in der *Telegrafierzentrale* – was die Vereinheitlichung der Sende und Übertragungsanlagen erleichterte.[879] Schon daher war man bestrebt, Zeitmultiplex auch für die Sprachübertragungstechniken nutzbar zu machen.

Als Fernschreibtechnik und als Puls-Code-Modulation (der Möglichkeit telegrafischer Übertragung auch kontinuierlicher Wellenzüge) wurde die Telegrafie wieder derart aktuell, daß sich die Redaktion der Proceedings der Institution of Radio Engineers (IRE) Anfang 1948 zu dem beispiellosen Schritt entschloß, einen klassischen Text zur Funktelegrafie aus dem Jahre 1904, die »Theory of Wireless Telegraphy« von John Stone Stone wieder vollständig als wissenschaftlichen Text abzudrucken. Und dies, 44 Jahre nach dessen erstem Erscheinen,

> »because .. . the information therein contained is completely pertinent to present-day radio technique« (Proc.IRE; 1948:307).

Besonders die Funktelegrafie trat als das neue Medium der Telegrafie in Erscheinung während des Krieges. So stieg beispielsweise die Zahl der per Funktelegrafie von Großbritannien ausgesandten Worte pro Monat von 350.000 im Jahr 1938 auf 7 Millionen 1947.[880] Weit mehr als die Leitungsübertragungstechniken aber brachte auf großen Entfernungen die Funktechnik das Problem der Abhörsicherheit der eigenen Botschaften mit sich. Die Verbreitung der Funktelegrafie stand so in engem Zusammenhang mit dem Aufstieg, den die Kryptografie im Zweiten Weltkrieg nahm.

Hatte Mitte der zwanziger Jahre die Frage nach Telegrafier*geschwindigkeit*, Signal*geschwindigkeit* und Nachrichtenübermittlungs*geschwindigkeit* zu den ersten systematischen Gedanken über den Begriff der Nachricht und optimale Codeformen angeregt, so war es im Zweiten Weltkrieg die Frage nach der *Sicherheit* der Nachrichtenübermittlung, die die Überlegungen über optimale Codes anregte.

2.4.1.3 KRYPTOGRAFIE

Nach der Forderung nach Existenz von Nachrichtenverbindungen überhaupt war während des Krieges wohl die nach deren Sicherheit vor gegnerischen Abhör- *(technische Sicherheit)* und Entzifferungsbemühungen *(strukturelle Sicherheit)* die wichtigste Forderung. Summarisch sollen hier alle Aktivitäten,

---

[874] dies betont Robinson (1947:268) besonders
[875] ebenda:273
[876] ebenda: 268
[877] Stoner (1945:280)
[878] Smale (1947:357)
[879] Hambley (1947:399)
[880] Angwin (1947:12)

die mit der Verzifferung eigener und der Entzifferung gegnerischer Botschaften in Verbindung standen, als Kryptologie bezeichnet werden.[881]

Höchstmögliche technische Sicherheit boten die Leitungsübertragung und der Richtfunk mit Zentimeterwellen, der wegen seiner engen Bündelbarkeit als »Hertzsches Kabel« bezeichnet wurde.[882] Höchstmögliche strukturelle Sicherheit boten Telegrafie und Pulsmodulation, die beliebiges Zeitmultiplex zur Verschlüsselung zuließ, später auch Zeit- und Frequenzmultiplex, »2-D-Scrambling«.

Es gab eine Vielzahl von Versuchen, auch Sprechübertragungen derart in ihren Frequenzanteilen zu vermischen, daß sie ohne Schlüssel nicht verstanden werden konnten. Es stellte sich jedoch heraus, daß selbst bei sehr komplizierten Methoden der Verzerrung und Vermischung von Sprache bei einiger Übung das bloße Ohr zu hinreichendem Verstehen derartigen Sprachsalates ausreichte. Versuche in Richtung dieser »Cipher telephony« (»Ciphony«) liefen in den BTL. Im Oktober setzte die »Communications Dvisions« des NDRC (Div.13, Sekt.3) eine Gruppe für die Entwicklung von Gesprächsverschlüsselungen ein. Ein entsprechender Kontrakt wurde mit den BTL geschlossen, die im 2. Weltkrieg »most of the American speech scrambling work« (Kahn; 1976:558) leisteten – unter Leitung von W. Koenig Jr.. Tests zu jener Zeit zeigten, daß bei den ersten »Scramblern« geübte Hörer noch immer eine Verständlichkeit von 50 – 80% erreichen konnten.[883] Claude Shannon, der während dieser Zeit an »cryptography and cryptographic machines« (Shannon; 1977 : 1/480) arbeitete und mit diesen Tests in Berührung kam, meinte später über dieses Phänomen:

> »That always impressed me. lt indicated the enormous redundancy of speech« (ebd.)

Dies ist mit einiger Sicherheit nicht eine ex-post-Aussage, denn auch der Leiter jener Tests, Koenig, zeigte sich bereits 1944 davon sehr beeindruckt und berichtete, in seinem BTL-Report »Speech Privacy Systems – Interception, Diagnosis, Decoding, Evaluation«:

> »The fact that the ear is such a good decoding tool makes the production of privacy systems very difficult. Scrambling methods which look very effective on paper sometimes turn out on trial to degrade the intelligibility very little, although the scrambled speech usually sounds unpleasant.
>
> Most methods if they are pushed to the point where they do succeed in hiding the intelligibility are impossible to restore withqood quality.« (Koenig; 1944:33)[884]

Dabei konnten Frequenzbänder vertauscht und vermischt werden (A-3-System)[885] oder nach einer Aufzeichnung in zeitlichen Abschnitten gemischt werden (TDS: Time Divison Scrambling).

In diesem Zusammenhang sei an die Arbeiten Hartley's zur geheimen Telefonie mittels deren zeitlicher Abtastung und Mischung erinnert, die den technischen Hintergrund zu seinem Informationskonzept abgaben.[886] Shannon war mit diesem Gebiet im 2. Weltkrieg mithin auch, zumindest gelegentlich, befaßt.

Zur Erkennung der Natur abgehörter gemixter Sprache wurde der »sound spectrograph« des »visible speech« Verfahrens von R.K. Potter (BTL) benutzt, mit dem die Sprache in einem Frequenz-Zeit-Diagramm dargestellt wurde. Mit Spektrographen konnte die verschlüsselte leicht mit normaler Spra-

---

[881] Kahn (1976) macht die Unterscheidung zwischen Verschlüsselung:Cryptography, Entschlüsselung = Cryptanalysis und dem gesamten Fachgebiet = Cryptology. In anderer Literatur, wie im allgemeinen Sprachgebrauch werden beide Funktionen als Kryptografie bezeichnet.
[882] z.B. in Thomson, Denly u.a. (147:107)
[883] nach Kahn (1976:558), der entsprechende BTL-Berichte anführt 105 zit.nach Kahn (1976:559)
[884] zit. nach Kahn (1976:559)
[885] ebenda: 554
[886] vgl. II.3.2.4

che verglichen werden und die Gruppe um Koenig erzielte damit rasche Erfolge. Zwischen Januar und Mai 1944 wurden 8 Spektrografen an die Streitkräfte ausgeliefert.[887]

In Visible Speech Spektrogrammen und 2-D(imensionalen) Sprachverschlüsselungssystemen trat eine umfangreiche theoretische Untersuchung und praktische Nutzung der 2-dimensionalen Darstellung von Signalen zutage, von der im Zusammenhang mit der Theorie Gabors noch die Rede sein wird (der sich auf Potters später veröffentlichte Arbeiten bezog), und auf die bereits mehrfach im Zusammenhang mit dem Begriff des Signalelementes hingewiesen wurde.

Hinsichtlich der »Cipher Telephony« kommt Kahn in seiner Analyse der Kryptographie des Zweiten Weltkrieges zu dem Schluß:

> »Ciphony never attained the security of written communications. Cryptologic terminology reflects this difference by calling scramblers ›privacy‹ systems and not ›secrecy‹ systems« (Kahn; 1976:560)

Die Hauptaufgabe der Kryptografie im 2. Weltkrieg war daher Verzifferung und Entzifferung von Fernschreibbotschaften, Bereitstellung von Codes, Konstruktion von Kodiermaschinen.

Diese Aufgaben zu bewältigen lag keineswegs am Rande militärisch/technischer Aufgaben, sondern wurde während des Zweiten Weltkrieges besonders in den USA[888] zu einer Aktivität ersten Ranges an Bedeutung und Ausmaß des Personalbedarfs.

Ein großes Zentrum kryptografischer Aktivitäten war das ACAN-Nachrichtenzentrum WAR in Washington, das gleichzeitig als Teststation, Ausbildungszentrum für nachrichtentechnische und kryptografische Aktivitäten diente[889] – mit seinem immensen Nachrichtenverkehr hatte es einen ebenso großen Bedarf an kryptografischer Versorgung.

Ebenso hatten diesen, aber auch weitaus kleinere entfernte Untereinheiten, wie z. B. die 5. US-Armee, deren Hauptquartier bei der Sizilien-Operation (Sommer 1943) 23.000 Codegruppen, beim Anmarsch auf Rom (Frühsommer 1944) 40.000 Codegruppen pro Tag zu bewältigen hatte, oder das europäische Hauptquartier der US-Army, das Ende 1944 1,5 - 2 Millionen Codegruppen pro Tag zu bewältigen hatte.[890] Das machte die mechanische Verschlüsselung notwendig, und die Amerikaner waren die ersten, die 1943 automatische »on line«-Kodierungsgeräte verwendeten.[891] Der Gebrauch dieser »cipher teletypewriters«

> »rapidly became the backbone method of military communication during World War II, especially where long distance communications were involved and where conference connections were desired« (Singer; 1948:1399)

---

[887] Kahn (1976:560)

[888] In Deutschland waren diese Funktionen weiter verstreut. Am wichtigsten war die Abteilung »Pers.-Z'' des Außenministeriums, in dem die Mathematiker konzentriert waren. Aus dieser ging der »Sonderdienst Dahlem« hervor mit 1942 etwa 200 Personen, davon 20-25 Mathematiker und später 300.

Daneben hatten diverse Dienste von Militär, Abwehr, Reichssicherheitshauptamt, Luftfahrtministerium und Wehrmachtsnachrichtentruppe eigene Abhör-, Ent- und Verzifferungsabteilungen.

Vergl. Kahn (1976/436 ff.)

[889] Signal Corps (1957:442)

[890] Kahn (1976:575)

[891] Signal Corps (1957:447)

Eine der Quellen elektronischer digitaler Computer, in Großbritannien ist die dortige kryptografische Technologie während des Zweiten Weltkrieges.[892]

In den USA war für die Entwicklung der Verschlüsselungsfernschreiber eine Abteilung der Nachrichtentruppe der US-Army (Signal Corps) zuständig, deren Namen sich während des Krieges ständig geändert hatte: »Signal Intelligence Service« – bis Juli 1942, »Signal Security Service« – bis Juli 1943, »Signal Security Agency« – bis zum Ende des Krieges. Schließlich ging sie bei der Gründung der National Security Agency als eigenständiger Behörde darin 1952 auf.[893]

Die größte von deren Abteilungen war »Cryptanalysis« (Entzifferung) mit 2.574 Mitarbeitern im Juli 1944. Die später gegründete »machine branch« für maschinelle Codierung umfaßte 1945 1.275 Operateure und 405 Maschinen.

Mit der Ausdehnung der Netze und dem Anschwellen des Verkehrs, »cryptology became big business« (Kahn; 9176:612) im Zweiten Weltkrieg. Waren im Herbst 1941 700 Leute im Nachrichtendienst der Navy, so waren es 1945 6.000, unterstanden dem Signal Intelligence Service in Washington Ende 1941 ganze 331 Mann, so waren es nur 3,5 Jahre später, Mitte 1945, 10.609 Mann, davon über die Hälfte Zivilisten.[894] Einer darunter war Claude Shannon in den BTL, der auf Kontraktbasis ab 1942 für den Signal Intelligence Service arbeitete und zu häufigen Konsultationen in Washington war.[895]

Diese Zahlen für Erforschung von Verfahren, Entwicklung von Maschinen und Codes, Entzifferung und Betrieb allein im Bereich der Kryptografie, allein in dieser Agentur erinnern fast an die kolossalen Ausmaße des F+E-Potentials der BTL. Insgesamt schätzt Kahn die Zahl der in den USA mit Kryptografie Befaßten auf

- im 1. Weltkrieg 400 Mann, d. h. einer von je 10.000 Mann unter Waffen
- im 2. Weltkrieg 16.000 Mann, d. h. einer von je 800 Mann unter Waffen[896]

Hunderte waren allein in der Umgebung Washingtons damit befaßt, Codetabellen für die Zehntausende von Verzifferungsmaschinen M-209 zu entwickeln, die weltweit im Betrieb der US-Streitkräfte waren und alle 8 Stunden ihre Codes zu ändern hatten.

Alles war zu verschlüsseln, Daten der Funkortung, Meteorologie, Flug-und Handelsschiffahrtspläne, »top secret« und selbst »restricted« klassifizierte Botschaften:[897]

> »Codes had become a cargo almost as essential as food or ammunition« (Kahn; 1976:611)

Während sich in der Verzifferung immer mehr automatische Geräte durchsetzten, nahm die Entzifferung immer mehr mathematische Züge an,[898] insbesondere algebraische. So *mechanisierte* der Zweite Weltkrieg die Verzifferung und *mathematisierte* die Entzifferung.[899]

---

[892] Randall (1972:7), hierüber bleiben die Angaben allerdings stets vage, weil noch heute die meisten Dokumente des Zweiten Weltkrieges zu Fragen der Kryptografie unter Verschluß sind.
[893] nach Kahn ist die NSA noch heute die größte »intelligence agency« der Welt – mit einem größeren Personalbestand als die CIA, dem doppelten Etat und einer um das Vielfache intensiveren Nachrichtensperre. (Kahn; 1976:575)
[894] sämtliche Angaben: Kahn (1976:575 f.)
[895] vgl. Anhang V
[896] Kahn (1976:611), auch die folgenden Angaben.
[897] Nichols (1946:112)
[898] Kahn (1976:404 f.)
[899] zu diesem Schluß kommt Kahn (1976:612) über die Kryptografie des Zweiten Weltkrieg

2.4.2 OPERATIVE NACHRICHTENSYSTEME

»Get the message through« (Motto des US-Signal Corps)[900]

Funktelegrafie und -telefonie dominierten die Nachrichtentechnik der operativen Einheiten des Krieges. Es bestand die Notwendigkeit der Koordination der Funksysteme innerhalb eines Operationsareals. Eine technische Antwort darauf war die Frequenzmodulation, deren Durchsetzung der Krieg brachte. Militärische Nachrichtennetze waren anders organisiert als die der kommerziellen Fernmeldetechnik. Sie mußten als Systeme der jeweiligen taktischen oder strategischen Situation insgesamt angepaßt werden. Einem Trend folgend, der bereits zwischen den Weltkriegen bestanden hatte, trat der Systemaspekt in der Nachrichtentechnik weiter in den Vordergrund.

2.4.2.1 FUNKTECHNIK

Während man innerhalb der USA – wo immer möglich bei den dort im großen und ganzen stabil bleibenden Teilen des ACAN-Netzes von Funk- auf Leitungsverbindungen überging,[901] hatte naturgemäß in den Nachrichtennetzen der operativen Einheiten die Flexibilität der Systeme den allerhöchsten Vorrang. Die allseitige und umfangreiche erstmalige Nutzung der Funktechnik war daher eines der wesentlichen technischen Kennzeichen des Zweiten Weltkrieges überhaupt.[902]

In den direkten Operationen war nicht einmal Richtfunk angebracht, sondern der Rundsprechfunk kurzer Reichweite. Für die schnelle Errichtung von Nachrichtenverbindungen größerer Kapazität in bereits stabilisierter Lage bzw. deren Errichtung zwischen direkt nicht zugänglichen Punkten war der Richtfunk u.U. über Relaisstrecken die ideale Technik. Für die festen strategischen Verbindungen und Übertragungen in etablierten militärischen Räumen allerdings blieb auch im Zweiten Weltkrieg die Leitungstechnik vorherrschend.[903]

Die Forderung nach höchstmöglicher Mobilität operativer Verbände ließ sich praktisch nur auf der Basis von Funk-Nachrichtenverbindungen erfüllen. Air Force und Navy waren darin notwendigerweise bereits wesentlich früher vorangegangen als die Army. Lange Zeit war die Mobilität der Armee der ihrer Nachrichtensysteme voraus.[904] Mehr als 20 elektronische und Nachrichtensysteme waren in einem Bomberflugzeug,[905] 100 Funksysteme in einem Flugzeugträger, 80 in einem Kriegsschiff und immerhin noch 7 Funksysteme in einem Torpedoboot untergebracht.[906] Wegen der Weite ihrer Operationsräume und der Isoliertheit von Versorgungsbasen unterhielt die Navy die stärksten Funksendeanlagen.[907]

In den Operationen der Landstreitkräfte ergaben sich mit dem umfassenden Einsatz von Funkgeräten eine Reihe von neuartigen Problemen von deren Koordinierung. Viele Sender konnten sich auf kleinstem Raum konzentrieren, dennoch sollte eine Verständigung ohne Interferenz möglich sein.

---

[900] Nichols (1946:115)
[901] Signal Corps (1957:429 f.)
[902] Dupuy, Dupuy (1970:1014) nennen als die drei wesentlichsten technischen Entwicklungen des 2. Weltkrieges die Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors, die Raketenwaffen und alle Funktechnik in Radar und Nachri chtenÜbertragung.
[903] beruhend vor allem auf dem aus erbeutetem dautschen Kabel weiterentwickelten »Spiral-4«-Kabel mit 4-Sprechkanälen, je auch mit 4 Fernschreibkanälen belegbar. (Signal Corps; 1957:63 f.)
[904] Cripps (1947:2)
[905] McClelland (1945/46:73)
[906] Redman (1945:46:92)
[907] Signal Corps (1957:78)

Verfügte beispielsweise eine britische Infanteriedivision bei Beginn des Krieges über 94 Funkgeräte, so waren es bei Ende des Krieges 900![908] In den US-Streitkräften benutzte eine Armee etwa 4.000 Funkgeräte, bei manchmal 4 Armeen, die an einer Front operierten.[909] Das Systemproblem des Rundfunk, die Senderkoordinierung, das im kommerziellen Rundfunk fixer Stationen noch gewissermaßen auf Einzelfallbasis lösbar gewesen war, wurde mit der Bewegung von »Sendermassen« ein schwerwiegendes prinzipielles Problem.

Ab Ende 1942 galt im NDRC der USA eine spezielle Sparte (Div.15) der »Radio Coordination«, die mit dem Radio-Research Laboratory der Harvard Universität eine der größten nachrichtentechnischen F+E-Einrichtungen des Krieges unterhielt.[910]

Die Übertragungstechnik, die diesen Bedingungen am besten gerecht wurde, war die Frequenzmodulation im UKW-Bereich. Ihre technischen Vorteile gegenüber der Amplitudenmodulation (hohe Toleranz gegenüber Interferenzen anderer Geräte, vergleichsweise geringer Energieaufwand bei gleicher Leistung und – wegen des »capture effect« – ein breiterer Frequenzbereich hinreichend guten Empfanges als bei der Amplitudenmodulation) schlugen sich in deutlichen operativen Vorteilen nieder: auf Kosten der Erhöhung der inneren Komplexität des Funkgerätes, die lediglich eine deutliche Trennung der Funktionen von Bedienung und Reparatur und die Anlegung eines Servicenetzes verlangte, konnte dessen Bedienung extrem vereinfacht werden.[911] Statt analoger Frequenzbereichseinstellung (»Tuning«) genügte eine »digitalisierte« (»Push-Button«)[912] Einstellung. Das Gerät konnte leicht in die Hände nur geringfügig trainierter Infanteristen oder Panzerbrigaden gegeben werden. Es konnte *während der Bewegung*, wie auch im Versteck ohne sichtbare äußere Bewegungen bedient werden.[913] Der klassische Begriff »walkie-talkie« für eins der FM-Funkgeräte der US-Armee, das ESCR-300, drückt die Anforderungen in diesem Bereich aus. Es erwies sich als unmöglich, ein AM-Funkgerät zu entwickeln, das bei einer Reichweite von 7 Meilen nicht mehr als 25 Pfd. wog.[914]

Als einzige der beteiligten Parteien rüstete die US-Armee 1942 ihre Streitkräfte, vor allem Panzer und Infanterie mit FM-Gerät aus,[915] das seit 1939 aus Polizeifunksystemen entwickelt worden war.[916] Dabei kam der US-Army zugute, daß sie ihre Panzerstreitkräfte erst aufzubauen hatte und so vollständig mit dem optimalen FM-Gerät ausrüsten konnte.[917]

Obwohl theoretisch noch nicht alle Aspekte der Frequenzmodulation geklärt waren, bewährte sie sich in den Operationen der US-Armee während des Krieges tausendfach. Bezeichnend ist dafür die Äußerung des Chief Signal Officer, General Colton:

> »This transmission problem is still being argued out in other circles on a theoretical basis with diminishing emphasis. So far as I am concerned there is no argument left, because we now have had approximately 200.000 frequency modulated sets in satisfactory operation in bands above 20 megacycles.« (Colton; 1945:177)

Erstmals hatte sich im Zweiten Weltkrieg auf breiter Basis eine andere als die Amplitudenmodulation durchgesetzt und ihre Vorteile drastisch unter Beweis gestellt. An anderen Stellen der nachrichtentechnischen operativen Systeme des Krieges begannen sich schließlich mit Ende des Krieges auch die ersten Pulsmodulationssysteme zu zeigen.

---

[908] Angwin (1947:7)
[909] Signal Corps (1957:404)
[910] vergl. III.1.1.1
[911] Hickman (1947:495) weist darauf ausführlich hin
[912] Hilliard (1944:52) hebt hervor, das Gerät sei »operated by pushing buttons, not by turning dials and knobs«, weshalb es kein »manual tuning or hairline adjustment« mehr verlange.
[913] Dull (1944:18/19)
[914] Signal Corps (1957:73)
[915] Hilliard (1944:52)
[916] Signal Corps (1957:71)

2.4.2.2 OPERATIVE SYSTEME

In den technischen Teilen mußten sich die Nachrichtenverbindungen des Krieges zunächst der in der kommerziellen Nachrichtentechnik entwickelten Bauteile und Geräte bedienen, so unvollkommen diese auch den anderen Bedingungen angepaßt wurden. Was den Aufbau der *Systeme* anging, gab es jedoch einige prinzipielle Unterschiede zu kommerziellen Nachrichtennetzen:

> »military communications necessarily must be organized on a command basis rather than on a common user basis« (Colton; 1945:176)

Jedem Kommandeur mußte das System dienen, seine Operationen zu unterstützen und seine Entscheidungen zu transportieren. Er stand jeweils im Kern eines Systems, das dann auf die nächstniedrigere Ebene ausstrahlte.[918]

Daher waren z. B. die Ausgangstechniken für die Entwicklung militärischer Fernschreibnetze nicht öffentliche Systeme, sondern solche, wie sie für die interne Kommunikation von Unternehmen entwickelt worden waren.[919] Besonders in kleinen Einheiten und bei schnellen Operationen waren fast ausschließlich Verbindungen auf »point-to-point-basis« (Putnam; 1946:757) benötigt, die sich jedoch mit Stabilisierung der Lage, Zunahme der Zahl der Benutzer, des Verwaltungs-und Nachschubnachrichtenverkehrs zusehends vernetzen und Schaltzentralen benötigten. Der Verbrauch einer normalen US-Infanteriedivision belief sich auf 700 Meilen Telefondraht, 600 Feldtelefone und 70 Vermittlungseinheiten in einer Operation.[920]

Für die Systeme höherer Schichten der militärischen Hierarchie galt dann:

> »Above division or perhaps corps level, the physical plant required begins to take on the appearance of a system network rather than a series of point-to-point routes« (Putnam; 1946:757)

Eine weitere interne Besonderheit schließlich war die hier vollständig verlorene Balance des *Verhältnisses von Bedarf und Nachschub* (in der kommerziellen Nachrichtentechnik durch die Kosten geregelt) und der allgegenwärtige *zeitliche Druck* im Aufbau der Systeme.

Eine Infanterieeinheit in direkten militärischen Operationen mußte mit einem Nachrichtensystem ausgestattet sein, das einer Vielzahl von konkreten Bedingungen Rechnung trug: den Gegebenheiten des Terrains, des taktischen Vorgehens, der beabsichtigten Geschwindigkeit des Vorgehens, den technischen Fähigkeiten des Gegners und daneben den allgegenwärtigen Forderungen nach hoher Mobilität (geringem Gewicht),[921] größtmöglicher Sicherheit, Robustheit, Einfachheit in der Bedienung.[922] Eine ganze Reihe technischer Faktoren setzte jedoch der Optimierung all dieser Anforderungen Grenzen, so zum Beispiel das Gewicht von energiespeicherndem oder -erzeugendem Gerät.[923]

Die Anpassung von Nachrichtensystemen unterschiedlicher Größe und Reichweite an all diese internen und externen Bedingungen in der Vielfalt der weltweit verstreuten Operationsgebiete schob den »systems viewpoint« (Singer; 1948:1399 f.) oder die »systems philosophy« (Putnam; 1946:758) als notwendige Grundlage der technischen Entwicklungen in den Vordergrund.

---

[917] ebenda: 218
[918] Hickman (1947:60)
[919] Robinson (1947:281 ff.)
[920] Ingles (1945/46:70)
[921] eine »prime desideration« für den Infanteristen, Signal Corps (1957:69
[922] Von den beiden Typen nachrichtentechnischen Gerätes der Armee, »fixed type« und »combat type«, waren wegen dieser Anforderungen die letzteren daher auch »in many respects entirely different from ordinary commcercial communication equipment«, während die festen Einrichtungen zumindest anfangs denen kommerzieller Nachrichtentechnik eher entsprachen. (Colton; 1945:173
[923] Das darüber hinaus des Kraftstoff-Nachschubs bedurfte.

Veranschaulicht wird dies durch die im Bell System, einem der wenigen in Systementwicklung und -betrieb erfahrenen Produzenten, entwickelte »idea of ›packaging‹ «, die von der Plant Engineering Agency des Signal Corps weiterentwickelt wurde, ganze Systeme in Einheiten zu verpacken und als Baukastensätze zu versenden:

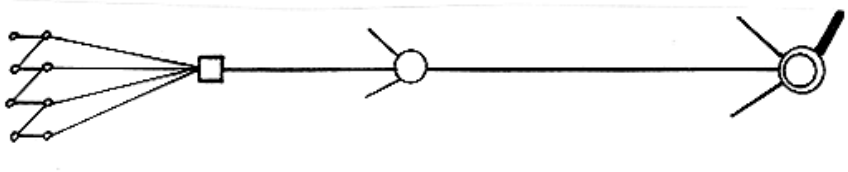
> »They wanted to be able, for example, to order a carrier system[924] in advance of specific need in much the same way as they might order shovels, guns, trucks, etc.« (Baker;1943/44:237)

Wie die Analyse der Publikationen zur Telefonie bereits für die Zeit bis zum Zweiten Weltkrieg gezeigt hatte, stieg dort der Anteil der Arbeiten zu Systemtechnik, Betrieb, Anwendungen und Anlagen kontinuierlich von 15% (1921) über 21% (1927) auf 30% (1939), d. h. mit der Beherrschung der Detailtechniken wurden die Systeme immer wichtiger. Dieser Trend erfuhr nun mit der Vielfalt der Anwendungssituationen im Zweiten Weltkrieg eine entscheidende Beschleunigung.

Wie sich genau militärische Nachrichtensysteme in die militärische Hierarchie einordneten und technisch die Hauptforderungen nach Mobilität und Ausdehnung der Kommandostruktur widerspiegelten, läßt sich am Beispiel des gestaffelten Funk-Nachrichten-Gerätesystems der britischen Armee deutlich machen.

Ende des Zweiten Weltkrieges waren in der britischen Armee 190.000 Funkgeräte im Einsatz, bei einer Nachrichtentruppenstärke von 155.000 Mann.[925] Etwas vereinfacht und auf die jeweils am meisten verwendeten Typen von Funkgerät konzentriert, war die Staffelung der unterschiedlichen Systeme in der Armee wie in Abbildung 7 wiedergegeben.

Abbildung 7: Funknachrichtensystem der britischen Armee im Zweiten Weltkrieg (zusammengestellt nach Hickman; 1947)



Dazu kam gegen Ende des Krieges als Verbindungssystem zwischen Armee und Hauptquartier (London) das WS 10, Pulsmodulationssystem, Dessen unmittelbare Reichweite lag etwa bei 40 Meilen, aber als Relaissystem konnten beliebig lange Strecken damit überbrückt werden. Wegen seiner Mikrowellen-Technik waren Gewicht und Volumen wieder geringer.[926] (LKW-Anhänger).

Bezeichnung	WS38	WS18	WS19	WS53
Einsatz (mil.)	Infanteriekompanie	Battaillon	Brigade/Div.	Div/Corps/Armee
Reichweite	1-2 Meilen	-5 Mln.	10-15 Mln.	100 Mln.
Gewicht	19 Pfd.	24-31 Pfd.	-70 Pfd.(LKW)	LKW
Leistung	0,25-0,5 Watt	0,5-1,5 W	5-10 Watt	250 Watt
Bandbreite	7,3-8,9 MHz	1,2-9 MHz	2-8 MHz	1,2-17,5 MHz
N-technik	Telefonie	Telf./Telegr.	Telef./Teleg.	Telef./Telegr.
Anz.der in 2 Wk.entw.	5	7	10	18

[924] Trägerstromsystem in Frequenzmultiplex
[925] Hickman (1947:60)
[926] Hickman (1947:495) weist darauf ausführlich hin

Bei der obigen Tabelle sind einige deutliche Staffelungen zu registrieren, wie z. B. der Wandel der verwendeten Nachrichtentechnik: allein *Sprechfunk* in den unmittelbaren Fronteinheiten, erst in weiterer Entfernung, bei festeren Nachrichtenzentren kommen *Fernschreiber* hinzu.

Die Forderung nach Mobilität, die unmittelbar an der Front wichtiger war als alles andere, begrenzte mit dem Gewicht auch die Leistungsabgabe der Geräte, d. h. im wesentlichen deren Reichweite. Diese durfte auch wegen der möglichen Interferenzen und (technischer) Sicherheit der Übertragungen nicht zu groß sein.

Mit der Höhenlage in der militärischen Hierarchie wuchs notwendigerweise die Reichweite der Geräte, mit der Entfernung von der Front konnte deren Mobilität abnehmen. Mit dem zunehmenden Verkehrsaufkommen, das sie zu bewältigen hatten, wuchs die Bandbreite, wie auch die Bedeutung von (technischer und struktureller) Sicherheit der Nachrichtenübertragung. Aus der ebenfalls wachsenden Zahl der verschiedenen jeweils entwickelten Gerätetypen wird der mit wachsender Reichweite (und zunehmender strategischer Bedeutung der Nachrichtenübertragung) wachsende Einfluß der verschiedenen Effizienzanforderungen unterschiedlicher Anwendungsbereiche deutlich.

Je kürzer die Reichweite, desto elementarer die Situation und die Geräteentwicklung wurde überwiegend von der Forderung nach Mobilität bestimmt. Je größer der erreichte Bereich, desto größer der Einfluß zusätzlicher Effizienzanforderungen der jeweiligen konkreten Anwendungsbereiche und -situationen (wie Sicherheit, Verkehrsvolumen, Reichweite im Gelände und zu unterschiedlichen Tageszeiten etc.).

Diese Zusammenstellung repräsentiert das direkte technische Abbild eines Schnittes durch einen Effizienzbereich (im hier im allgemeinen verwendeten Sinn), bei dem sich bestimmte Effizienzanforderungen in ihrer Bedeutung kontinuierlich verändern.

2.4.3-ÜBERTRAGUNGSTECHNIK

Die Impuls-Übertragungstechniken nutzten direkt Detailtechniken der Radarentwicklung.

Die Puls-Code-Modulation als telegrafische Sprachübertragung entstand (auch) direkt aus dieser Entwicklung – unter den Leistungsanforderungen geheimer Sprachübertragung.

Sie entstand (auch) als eine technische Anwendung der Informationstheorie Shannons.

2.4.3.1 IMPULSMODULATION

Ihre historische Wurzel, wie auch einen ihrer wichtigsten Anwendungsbereiche, haben die (Im)Pulsmodulationstechniken im Zeitmultiplex von Telefoniesignalen, d. h. der sukzessiven Übertragung von Teilen unterschiedlicher Gespräche Über denselben Kanal und deren anschließender Entmischung. In der *Telegrafie* war dies eine alte Idee: so schlug M.B. Farmer bereits 1853 ein entsprechendes System vor,[927] wie es dann später im Baudot-Verfahren praktisch realisiert wurde.[928]

Auch in der Telefonie jedoch, und dies ist weniger bekannt, ist die Zeit-Verteilung verschiedener Gespräche auf einen Kanal älter als die Frequenzteilung: in W.M. Miner's System der »Multiplex Te-

[927] Cattermole (1969:19)
[928] Cooke (1947:84) nennt dieses Verfahren als einen Vorläufer der Pulsmodulation

lephony« von 1903, das immerhin eine verständliche Sprachübertragung ermöglichte, praktisch jedoch bedeutungslos blieb.[929]

1920 schlug G. Valensi (frz. Post) der AT&T ein Telefon(Zeit)multiplex Verfahren vor, das von John Carson jedoch nach theoretischer Prüfung verworfen wurde. Es hatte zu dieser Zeit bereits mit der Frequenzteilung (Wellenfilter) zu konkurrieren und hätte für einen hinreichend scharfen Abbruch der jeweiligen Gesprächsteile um deren gegenseitige Interferenz (»Crosstalk«) zu vermeiden viel zu hohe Bandbreiten verlangt.[930] Obwohl später in den Breitband(Koaxial)Kabeln Bandbreite nicht mehr um jeden Preis gespart werden mußte, kam W.R. Bennett 1941 zu dem Schluß, daß in diesen Kabeln Zeit-Multiplex-Telefonie wegen der hohen Zahl benötigter Zwischenverstärker nicht praktikabel sei. In der Funktelefonie wurde jedoch ein Jahr später in Großbritannien Zeitmultiplextelefonie erstmals praktisch demonstriert – in Gestalt des WS10 Systems[931] und drei Jahre später, 1944, in größerem Maßstab eingesetzt.

Dieses erste pulsmodulierte Funksystem im Krieg war ein direktes Produkt der Radar-Technik und arbeitete mit deren Zentimeterwellenröhre, dem Magnetron. Sein Frequenzbereich mußte so eingerichtet werden, daß er nicht mit Mikrowellenradar interferierte.[932] Ab 1942 spielte es in den Planungen für die alliierte Invasion in Europa eine wichtige Rolle.

Seine Vorteile gegenüber anderen Systemen waren vielfältig:

> »the potentialities of the system, in particular with regard to mobility, security and traffic handling capacities were very evident« (James, Dix u.a.; 1947:517)

Es verfügte über 8 Telefoniekanäle in Puls-Längenmodulation[933] und Zeitmultiplex im Frequenzbereich von 3000 – 5000 Megahertz. Seine unmittelbare Reichweite lag bei etwa 40 Meilen und wegen der Zentimeterwellentechnik benötigte es nur Gerät relativ geringer Abmessungen. Das WS10-System bildete Feldmarschall Montgomery`s »main communication link up to the capitulation of Germany« mit der Zentrale in London (Hickman; 1947:71). Eine extrem rauschfreie und abhörsichere Verbindung mit sehr großer Bandbreite, die für die einzelnen Gesprächskanäle zur Verfügung stand: statt der etwa 4 kHz für einen Kanal in kommerzieller Telefonie, ca. 125 kHz![934]

Technisch war diese Verbindung wegen der starken Bündelbarkeit von Mikrowellen, *strukturell* wegen Zeitmultiplex außerordentlich sicher vor Abhörversuchen des Gegners. Das vergleichbare amerikanische Funkrelaissystem AN/TRC 1 bis 3 (Bell Telephone), das im 70-100 Megahertzbereich mit Frequenzmodulation operierte war dagegen in beiderlei Hinsicht wesentlich leichter abhörbar und einsetzbar daher nur in »operation against an enemy whose technical resources were slight« (Hickman;1947:71), nämlich in Rangun (Burma).

Nach intensiven Kontakten mit den Briten wurde von den Amerikanern schließlich das Bell-AN/TRC-6 als erstes Pulsgerät produziert[935]. Dessen Folgetyp, AN/TRC-16 der Bell Laboratories war das erste

---

[929] Bericht, »Recent Developments in Multiplex Telephony« in Electrical World 42; 1903:920, darin wird Miners Ansicht über die optimale »Abtastfrequenz« zitiert:
»it would be necessary to have contacts or closures to correspond as near as possible with the frequency of vibration of the human voice«

[930] Bennett (1976:2)

[931] nach Croke (1947:84).Nach James, Dix u.a. (1947:517) im Sommer 1942

[932] James, Dix u.a. (1947:518)

[933] die Schwankungen der Sprechstrom-Amplitude wurden durch die Länge der Abtastimpulse in der Zeit (Dauer) wiedergegeben.

[934] Roddam (1949:112)

[935] James, Dix u.a. (1947:517)

reale Puls-Code-modulierte System.[936] So verlief ein direkter Weg von der Radartechnik über die Impuls-Technik in der Nachrichtenübertragung zum Puls-Code-Modulationsverfahren.

Obwohl die PCM erst in den 60'er Jahren, nach voller Einsetzbarkeit des Transistors praktische Bedeutung erlangte, soll sie doch bereits an dieser Stelle näher diskutiert werden, da sie als theoretische Möglichkeit wegen ihrer vielversprechenden Eigenschaften die Theoriebildung in der Nachrichtentechnik zum Ende der 40'er Jahre sehr inspirierte.

2.4.3.2 PULS-CODE-MODULATION (PCM)

Kurz gesagt ist die Puls-Code Modulation eine telegrafische Übertragung der Amplitudenwerte analoger Übertragungsverfahren, die »conveyance of analog information in digital form« (Cattermole; 1969:9).

Die kontinuierlichen Spannungsschwankungen einer analogen Übertragung werden dabei in einzelnen Momentanwerten festgehalten (»abgetastet«), deren zeitlichen Abstand, t, das Abtasttheorem mit mindestens $t = 1/(2f_0)$ angibt, wenn f_0 der höchste noch übertragene Frequenzanteil des Signals ist, um aus diesen später die vollständige Funktion wieder rekonstruieren zu können. Dieser Vorgang des Abtastens allein führt zur Puls-Amplitudenmodulation, einem in einem Parameter analogen, im anderen diskreten Verfahren. Die einzelnen Impulse können alle Werte der Amplitude annehmen, lediglich die Zeitvariable ist diskret, nur zu $t= 1/2\ f_0$, $t = 1/f_0$, $t = 3/2\ f_0$ ... werden ihr Werte zugeordnet. Der nächste Schritt ist die Quantisierung der Amplitudenwerte, bei der nur festgelegte Stufenwerte übertragen werden und nicht jeder beliebige Amplitudenwert. Eine in der Telefonie übliche Zahl zugelassener Amplitudenstufen ist 32.

Soweit entspräche das Verfahren dem, das Hartley (1928) als theoretische Methode der Zurückführung des Falls kontinuierlicher Übertragung auf seine für den diskreten Fall angestellten Überlegungen angab (s.o.). Bereits so wären die Impulse auf der Übertragungsstrecke wieder leichter regenerierbar.

Das einfache (und geniale) Prinzip der PCM besteht nun darin, die Werte der abgetasteten und quantisierten Impulse in einem telegrafischen *Code* darzustellen, der sich binärer Impulse bedient. Es werden also die momentanen Spannungswerte der elektrischen Sprachschwingungen beziffert und telegrafiert.

Es versteht sich, daß dieses Verfahren sehr komplexe Logik der Endgeräte verlangt, schnellste Schalter für den Telegrafiervorgang und eine hohe Bandbreite erfordert, wegen der hohen »Telegrafiergeschwindigkeit«. Etwa 30.000 bis 60.000 Binärzeichen müssen dabei je Sekunde übertragen werden, man vergleiche das mit den 50-80 Baud der Fernschreibnetze.

Ende der dreißiger Jahre waren vielerorts Versuche im Gange, die Sprachübertragung der *Telefonie* mit der Übertragungstechnik der *Telegrafie* zu verknüpfen. Die beiden wichtigsten Resultate dieser Forschungen waren der Vocoder (1937, BTL (AT&T), und die Puls-Code-Modulation (1937, IT&T) – der eine unter der Zielvorgabe der *Bandbreitenreduktion in Leitungstelefonie* (AT&T), die andere unter der Zielvorgabe der *Rausch-Reduktion in Hochfreguenz-Funkübertragungsstrecken.*[937] Daher die 30.000 – 60.000 Binärzeichen pro Sekunde für PCM und nur 1.500 beim Vocoder.[938]

Der erste Schritt der IT&T-Entwicklung (in Paris), an der A.H. Reeves maßgeblich beteiligt war, war die Pulse-Time-Modulation, bei der die Amplituden der Impulse konstant gehalten wurden und ihr zeitlicher Abstand analog den abgetasteten Amplitudenwerten variierte.[939] Dies hatte den Vorteil, daß

---

[936] Bennett (1976:5)
[937] vgl. Teil II zum Vocoder; Cattermole (1969:20 f.)
[938] Pierce (1965:166)
[939] Cattermole (1969:19)

die Impulse leicht wieder regeneriert werden konnten, aber um so genauer mußte ihr zeitlicher Abstand erhalten werden.

Auf diese Technik wandte Reeves Verfahren an, die er in den zwanziger Jahren bei der Entwicklung von elektronischen Zählvorrichtungen auf der Basis bi-stabiler Kreise genutzt hatte.[940] Mit diesen konnten dann die Zeitabstände der Impulse gezählt werden und so – über den Umweg der Variablen Zeit – die Amplituden quantisiert und codiert werden.

»Pulse Count Modulation« hieß die Reevessche PCM daher.[941] Ein Patent[942] wurde 1938 erteilt, – Komponenten und Bauteile für die praktische Durchführung aber existierten noch nicht.

Eine PCM-ähnliche Technik war bereits 1921 für die Codierung der Bildpunkte in TV- und Faksimileübertragung von P.M. Rainey (Western Electric) angemeldet worden.[943] Dabei wurden diese als binär codierte Telegrafensignale dargestellt. Ein Schluß der wesentlich näher lag als im Fall der Telefonie, da Bildübertragung und erste TV-Versuche direkt aus der Telegrafie hervorgegangen waren. 1926 wurde dieses Patent erteilt,[944] praktische Auswirkungen hatte es nicht.

Kurz vor und während des Zweiten Weltkrieges erhöhte sich das Interesse an allen Techniken, die die Telefonie mit den digitalen Übertragungstechniken der Telegrafie verbinden konnten, da diese erfahrungsgemäß sicherer of verschlüsselbar waren. So wurden, besonders in den BTL, Vocoder und PCM-Systeme entwickelt, mit dem Ziel, die Sprachübertragung sicherer zu machen.[945]

Derartige Verfahren hatten den Vorteil, daß die klassischen Verschlüsselungsmethoden der *Telegrafie* des 1. Weltkrieges (wie das Vernam-System) so auch für die Sprachverschlüsselung genutzt werden konnten.[946] Das Vocoder-Verschlüsselungssystem »6-Sally« (BTL), das 1941 eingesetzt wurde, wird von Bennet (1976:5) bereits als ein erstes PCM-System angesehen. Das erste »reine« PCM-System war jedoch das von einer Gruppe um H.S. Black (BTL) entwickelte AN/TRC-16 das für eine verschlüsselbare Mikrowellen-Funkstrecke (8 Kanäle) gedacht war, aber nie zum Einsatz kam, »because no satisfacotry keying equipment was provided« (Bennett; 1976:5). Eine Situation, die sich mit der Einsetzbarkeit des Transistors änderte.

Auch für die Verschlüsselung von jedweder Nachrichtenübertragung ist PCM bestens geeignet. Heutige Verschlüsselungssysteme für Nachrichten höchster Sicherheitsstufen, wie das amerikanische Ky-9-System basieren auf PCM.[947]

Die Bedeutung der PCM für die Entwicklung der Nachrichtentheorien ist außerordentlich groß, da sie das *technische Mittel* ist, alle Nachrichtentechniken auf die Telegrafie zurückzuführen, für die allein der Begriff der *Nachrichtenmenge* ausschlaggebend ist.

Die Puls Code Modulation stellt den technischen Hintergrund dar, vor dem die Nachrichtentheorie als *Systemtheorie der Telegrafie zur Übertragungstheorie der gesamten Fernmeldetechnik* wurde.

Obwohl nach erstem Augenschein PCM als *Technik* ihrer *Theorie*, der Informationstheorie, vorausging,[948] war es tatsächlich anders. Das erste PCM-Patent von 1938 blieb relativ unbekannt und war

---

[940] Cattermole (1969:21 f.)
[941] noch Ende der 40'er Jahre wurde das »C« in PCM von IT&T-Seite als »Count«, von AT&T-Seite als »code« begriffen. Vergl. z. B. Clavier, Panter, Grieg (1947) und Black (1947)
[942] frz. Patent am 3.10.1938, US-Patent am 8.11.1938
[943] Fagen (1976:922)
[944] Bennett (1976:4)
[945] ebenda
[946] ebenda
[947] Kahn (1976:711)

auch Shannon in den frühen 40'er Jahren nicht bekannt. Im Verlauf der Entwicklung seiner Überlegungen zu den Theorien der Kryptografie und der Kommunikation erschien vielmehr eine PCM als *eine mögliche Anwendung der Theorie:*

> »As a matter of fact, I thought, I had discovered PCM« (Shannon; 1977:2/ 310)

Erst die dann folgende Patentprüfung brachte die Klarheit, daß es bereits zuvor – ohne Theorie – entwickelt worden war.[949]

Weder entstand die Informationstheorie als »Theorie der PCM«, noch die PCM – notwendigerweise – nur als Anwendung der Informationstheorie. Viel enger als die Entstehung beider war ihre spätere Verbreitung oder Popularität miteinander verbunden.

Eine wichtigere Rolle spielten Informationstheorie und »Philosophy of PCM« (Oliver, Pierce, Shannon; 1949) für die späteren Weiterentwicklungen der PCM, wie »Hyperquantisierung«, d. h. der zusammenfassenden Codierung mehrerer Abtastwerte oder deren Differenzen oder »nichtuniformer Quantisierung«,[950] bei der die Amplitudenstufen nicht äquidistant, sondern nach einem logarithmischen Gesetz mit größerer Amplitude größer wurden.

Die oben genannte Arbeit war eine der ersten Anwendungen der Informationstheorie, bei der die verschiedenen Modulationsarten miteinander verglichen wurden. Die praktische Nutzung der PCM begann erst in den 60'er Jahren,[951] vor allem in der Telefonie, nachdem sie noch in den späten 40'er Jahren (als sie in Laborsystemen erprobt und theoretisch verstanden war) im Bell System gegenüber der Frequenzmodulation zurückgestellt worden war.[952] Gewicht, Größe, Komplexität der Geräte waren die Hindernisse bei ihrer ökonomischen Anwendung.[953] Hierin schnitt die FM besser ab. FM war, bei ähnlichen Übertragungseigenschaften (Rauschen, Bandbreite) billig, erprobt und einfach.

Diese Bedingungen änderten sich später (Transistor)[954] und die PCM wurde ein entscheidender Teil der

> »revolution, which is digitalizing almost every step in the telecommunications pathway« (Bennett; 1976:13)

Die entscheidenden Vorteile der PCM, die sie mit den Techniken digitaler Nachrichtenverarbeitung teilt und die mit zu der digitalen und Informations-Euphorie der 50'er Jahre beitrugen (und die bereits zum größten Teil in »Philosophy of PCM« (1949) genannt wurden) sind:[955]

-die Unabhängigkeit der *Übertragungsqualität* von der Übertragungsdistanz, der Netztopologie oder dem Übertragungsmedium (Leitung, Funk) durch Regenerierung der codierten Signale (dies entspricht der beliebig steigerbaren Genauigkeit digitaler Computer im Gegensatz zu analogen)

-die *Kompatibilität* aller Übertragungsmedien (Funk, Leitung, Schaltung) und Verkehrsarten (Teleqrafie, Telefonie, Daten, TV) einschließlich von Nachrichtenübertragung und -verarbeitung.

---

[948] Wie es aus den Patentdaten z. B. Cattermole (IT&T) ableitet: »The extension by Shannon, Wiener and others (der Theoreme von Hartley und Nyquist – F.H.) to continuous signals followed, not preceded the invention of PCM« (1969:20), was zeitlich zwar, nicht aber direkt kausal richtig ist.
[949] An diese Epidose erinnerten sich neben Shannon auch Bode (1977:1/960), MacMillan (1977:3/106) und Bennett (1977:1/1147)
[950] bereits 1948 von Holzwarth (Siemens) vorgeschlagen (Holzwarth:1948)
[951] Bennett (1976:11)
[952] Bennett (1976:6)
[953] Fitzpatrick (1953:125)
[954] der Transistor schuf die Voraussetzung für einen Zwischen verstärker der »small-size, low-cost, 10w-power, long-life and stable« war (Bennett; 1976:8)
[955] Cattermole (1969:27 f.)

-die *schrittweise Erweiterbarkeit* der Installationen für höhere Übertragungsqualitäten oder Verkehrsaufkommen durch Zwischenschaltung von mehr Regeneratoren und Zuschaltung von Endgerät.

3. DIE THEORIE UND DIE THEORETIKER

VORBEMERKUNG

Bei den oben geschilderten Ausgangsbedingungen in Technik und Forschungsstruktur der Nachrichtentechnik zum Ende des Zweiten Weltkrieges überrascht es nicht, daß eine große Zahl von mehr oder weniger erfolgreichen und mehr oder weniger unterschiedlichen Versuchen auftauchte, generelle Kommunikationstheorien zu formulieren:

Die Bandbreitenbereiche hatten sich ungeheuer erweitert; statt der noch bis Ende der 30'er Jahre dominierenden Amplitudenmodulation (außerhalb der Telegrafie) hatte man nun dazu Frequenz-, Puls-Zeit-, Puls-Phasen-, Puls-Frequenz- und Puls-Code-Modulation zur Verfügung. Hohe Frequenzbereiche, Radar- und Funkübertragungs- und -meßtechniken hatten das Rauschen, d. h. besonders das Verhältnis von Signal- zu Rauschleistung zu dem entscheidenden Faktor der Übertragungsqualitat werden lassen.

Die ersten derartigen Arbeiten erschienen bis zum Ende der 40'er Jahre und waren von der – wie immer gearteten Tätigkeit der Autoren während des Krieges geprägt. Gegenseitig hatten sich diese verschiedenen Ansätze dabei noch so gut wie nicht direkt beeinflußt. Mit Hinblick auf den Kontext ihrer Entstehung in der Kriegsforschung und vor dem Hintergrund der Kriegstechnik werden diese Arbeiten daher an dieser Stelle untersucht.

Nach dem Erscheinen von Shannons Theorie (1948) erschien keine nachrichtentheoretische Arbeit mehr, die ihren Gültigkeitsbereich und ihre Methode nicht an dieser Arbeit neu orientiert hätte. Veröffentlichungen, Kongresse und Reiseaktivitäten intensivierten dann die gegenseitigen Kontakte so, daß zufällige Parallelentwicklungen nicht mehr möglich waren.

Die in den Science Abstracts, Ser.B. (Electrical Engineering) unter »Telecommunication« aufgeführten Arbeiten – unter ihnen alle Ansätze zu einer allgemeinen Kommunikationstheorie stiegen von erstmals 2 (1947) über 11 (1948) auf 21 (1949) – um 1950 leicht auf 17 abgefallen zu sein.

Diese ersten, unabhängig voneinander entstandenen Arbeiten werden im folgenden diskutiert. Prinzipiell können dabei 4 Gruppen von Konzepten unterschieden werden:

- die physikalische Kommunikationstheorie (Gabor)

- die nachrichtentechnischen Kommunikationskonzepte (»Hartley'sch« oder »Nicht-Hartley'sch«)

- die statistische Kommunikationstheorie (Wiener)

- die mathematische Kommunikationstheorie (Shannon).

Für die Theorien – wie die Wieners oder Shannons – deren Gehalt vollständig in umfangreichen Diskussionen aktueller Gebiete direkt aufgegangen ist, umfassend und ausgiebig dargestellt, popularisiert und diskutiert wurde und allen Vorstellungen einer Vielzahl anderer Gebiete heute über Kommunikation und Information zu Grunde liegt – wird hier kein Versuch mehr unternommen, diese inhaltlich ausführlicher darzustellen.

Hier sind die Aspekte der Konzepte von Bedeutung, die auf ihren methodischen Ursprung, die zugrunde liegende Technik und ihre Leistungsfähigkeit für die Abschätzung der Leistungen von Nachrichtenübertragungstechniken deuten.

3.1 DENNIS GABOR: PHYSIKALISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE

Gabor war Physiker und durch die Struktur des europäischen Typs von industriellen Forschungsorganisationen in Fernmeldetechnik/Elektrotechnik geprägt worden.

Ein Übergang von dem Problem der Grenzen der Meßbarkeit in der Elektronen-Mikroskopie zur Signaldarstellung in der Nachrichtentechnik, wie er Gabor's Theorie kennzeichnete, wäre innerhalb der Forschungsstruktur eines Unternehmens wie der Bell Telephone Laboratories nicht möglich gewesen.

Gabor war nicht an der Kriegsforschung beteiligt. Daraus resultierte eine Phasenverschiebung zwischen dem aktuellen Stand der technischen Probleme in der Nachrichtentechnik und den von ihm nach dem Krieg untersuchten Problemen.

Seine Theorie war das Resultat eines Methodentransfers von Physik und Quantenmechanik in Nachrichtentechnik und subjektive Akustik. Sie ist ein Paradebeispiel einer im Kontext von »Schwingungsforschung« entstandenen Kommunikationstheorie.

Sprach Shannon von »english text«, so Gabor von »english tongue«.[956]

3.1.1 FORSCHUNGSHINTERGRUND

Die wissenschaftliche Laufbahn Dennis Gabors und der Ort seiner (hier relevanten) Forschungstätigkeit entsprechen ziemlich genau dem traditionellen deutschen Modell technischer Forschung in der Nachrichtentechnik.[957] Jahrgang 1900 (und damit eine gute wissenschaftliche Generation älter als Shannon) promovierte Gabor 1927 an der TH Berlin im Fach Physik, um von 1927-1933 im Forschungslabor der Siemens & Halske AG an Problemen der Gasentladungs- und Plasmaphysik zu arbeiten.[958] Nach erzwungener Ausreise aus Deutschland mit Beginn der Nazizeit arbeitete er von 1934 bis weit nach dem Krieg im Forschungslabor des traditionellen britischen Elektrokonzerns (ähnlichen Produktspektrums aber geringerer Größe wie Siemens) British-Thomson-Houston (BTH) in Rugby[959] – in einer recht unabhängigen Forschungs-Position. Dort beschäftigte er sich mit Forschungen im Bereich von Elektronenphysik/Elektronenmikroskopie.[960]

Zum BTH-Produktprogramm gehörten Starkstrom- und Energietechnik, Beleuchtung, Elektronik/Akustik, Tonfilm- und Kinogerät.[961]

Besonders die BTH-Aktivitäten im Bereich von Optik, optischen und kinematografischen Aufzeichnungsverfahren und Akustik waren als technische Methoden von Bedeutung für die experimentellen (wie auch konzeptionellen) Teile der Gaborschen Theorie.[962]

Mittelbar – über die BTH assoziierten Vickers-Werke – gehörten auch Elektronenmikroskope zum BTH-Programm, was Gabor die Möglichkeit gab, in diesem Bereich zu arbeiten.[963]

---

[956] Shannon, »Prediction and Entropy of Printed English« (1951); Gabor (1947:376)
[957] Anhang I
[958] Biografische Angaben in Wilford (1971:28) und »Professor Dr. Dennis Gabor« in Photographische Korrespondenz, Bd. 107; 1971, 11:215
[959] in H.Dr.Price-Hughes (1946:136) ist Gabor dort aufgeführt.
[960] Eine wahrscheinlich unvollständige Liste seiner Veröffentlichungen nennt 1944-45 einschließlich 4 Artikel und ein Buch zum Thema Elektronenphysik/Elektronenmikroskopie
[961] BTH-Activities, vol.19; 1947,5:160 und ebenda, vol.22; 1951,1:28
[962] siehe unten. Gerade 1938 hatte BTH sein neues Tonfilmlabor eingerichtet (Price-Hughes; 1946:135)
[963] Gabor (1972:656)

In der Kriegstechnik war BTH stark in der Radar-Produktion engagiert,[964] wie auch, als traditioneller »Gemischtwaren«-Elektrokonzern in Entwicklung und Produktion mechanischer Feuerleitungs-Kommandogeräte[965] Es wirft ein kennzeichnendes Licht auf die unterschiedlichen F+E-Programme dieses britischen Unternehmens und der amerikanischen Western Electric/ Bell Laboratories, daß 1943 die Produktion der BTH-Kommandogeräte mit dem Auftauchen der amerikanischen elektrischen Geräte (wie dem M-9) eingestellt werden mußte.

Ohnehin war Gabor an der Kriegsforschung *nicht* beteiligt gewesen, weil er als ungarisch/deutscher Immigrant nicht den Geheimhaltungsbestimmungen in Großbritannien genügte.[966]

Insofern stellt seine Theorie ein interessantes Vergleichsobjekt zu den ansonsten durch die Probleme und Entwicklungen der Kriegsforschung geprägten Kommunikationskonzepten dar.

Das BTH Research Laboratory hatte 1947 einen Stab von etwa 100 Wissenschaftlern und Ingenieuren.[967] Dies reflektiert zum einen die Konzentration der britischen Kriegsforschung in den besonderen staatlichen und militärischen Research Establishments – außerhalb der Industrie – zum anderen macht es das BTH-Research Laboratory etwa dem Siemens Forschungslabor (FL) um 1925[968] vergleichbar in der Größenordnung. Die 7 Abteilungen dieses Labors im Jahr 1947 waren:[969]

1 Funk und Fernsehen

2 Isolatoren

3 Chemie und Metallurgie

4 Physik

5 Technik der Produktionsvorbereitung

6 Elektronenröhren

7 Lampen und Beleuchtung

Seine Abteilungsstruktur war damit teils funktions-(5) teils fach-(3,4) und teils produkt(bereichs)bestimmt (1,2,6,7) – und ebenso wie das Produktspektrum der Struktur von Siemens ZL/FL weit ähnlicher als etwa der der Bell Laboratories.

In besonders enger Zusammenarbeit stand Gabor mit der Abteilung Physik[970] wie er sich auch in der Phase der Entstehung seiner Kommunikationstheorie in Diskussionen mit dem Physiker Max Born befand.[971]

So wie Shannon von *Mathematik* (Ph.D., 1940), *US-Kriegsforschung* und Struktur der Forschung in den *Fell Laboratories* in seiner wissenschaftlichen Laufbahn geprägt worden war, war dies Gabor von der *Physik* (Dr., 1927) und *ziviler Forschung* im Kontext der *Elektrotechnik.* Vor dem Hintergrund

---

[964] Price-Hughes (1946:93)
[965] ebenda: 104
[966] Dieses berichtete John Pierce (1977:1/1102), der Gabor 1944 in Großbritannien besucht hatte.
[967] Dunsheat (1947:346)
[968] siehe Anhang 1
[969] Price-Hughes (1946:137)
[970] In (Gabor; 1946:452) dankte Gabor C.J. Milner, dem Leiter der Abteilung für Physik im BTH Research Lab. (Price-Hughes; 1946:137)
[971] Gabor (1946:457)

britischer Nachrichtentechnik erscheint er als ein theoretischer Physiker[972] für die Amerikaner eher Hartley[973] oder Nyquist[974] in der Denkweise verwandt, ausgehend von einem »tremendeous sense about nature« (Lerner; 1977:1/3).

So wenig Chancen unter diesen Umständen Gabors Theorie zunächst hatte, in den USA auf fruchtbaren Boden in den Kreisen der theoretisch orientierten Nachrichtentechniker zu fallen, hatte man in den gleichen Kreisen zunächst auch sein Konzept der Holographie zunächst als hinreichend abwegig angesehen. Zu Unrecht – wie sich später herausstellte.

Heute gibt es auch durchaus eine Diskussion der »Strukturellen Informationstheorie«, die auf Gabor zurückgeht und sich von der Shannonschen Informationstheorie abgrenzt[975] Um die intellektuelle Gleichwertigkeit der verschiedenen Ansätze deutlich zu machen, sei nur angemerkt, daß die höchste Auszeichnung der amerikanischen Elektroingenieursvereinigung (IEEE bzw. vor 1962 IRE), die IEEE »Medal of Honor« Hartley 1946, Nyquist 1960, Shannon 1966 und Gabor 1970 erhielten.[976]

3.1.2 »THEORY OF COMMUNICATION«

Diese 1946 erschienene Arbeit von Gabor war – seiner wissenschaftlichen Biographie entsprechend – weit stärker an klassischen und nichtklassischen Gebieten der *Physik* orientiert, als an *nachrichtentechnischen* Quellen: von den 45 in dieser Arbeit von ihm in den unterschiedlichsten Zusammenhängen zitierten Quellen sind mehr als die Hälfte,25, aus den Bereichen klassische Physik/Akustik/Quantenmechanik, 6 aus dem Bereich der mathematischen Analysis, insbesondere dem Gebiet der Fourieranalyse und 14 aus der Nachrichtentechnik – d. h. mehr als 2/3 aller Quellen aus Physik/Fourieranalyse und weniger als 1/3 aus der Nachrichtentechnik.[977] Dies deutet bereits an, daß diese Theorie eher unter das Dach der die nachrichtentechnische Diskussion der 30'er Jahre bestimmenden »Schwingungsforschung« als in die durch Rauschprobleme, statistische Methoden und digitale Techniken dominierte Nachrichtentechnik der späten 40'er und der 50'er Jahre gehörte.

Bei der Ableitung seines Informationsbegriffes bezog sich Gabor auf die Arbeit Hartley's (als einziger britischer Autor vor der Veröffentlichung von Shannons Theorie) und auf dessen Rezeption durch deutsche Autoren.[978]

Seine Arbeit bestand aus 3 Teilen. Im ersten Teil *(»Analysis of Information«)* definierte er seinen Informationsbegriff, dann untersuchte er mit dessen Hilfe den für ihn wichtigsten Bestandteil der Nachrichtenübertragung *(»Analysis of Hearing«)* und versuchte schließlich im 3. Teil die daraus gewonnenen Erkenntnisse für die ökonomischere Sprachübertragung zu nutzen *(»Frequency Compression and Expansion«).*

Den direkten technischen Hintergrund für Gabors »Theory of Communication« (TOC) bildeten Sprach- und Musikübertragung, d. h. die Techniken der Telefonie und des Tonfilms, sowie deren Wahrnehmung durch das Ohr. Als Beispiele untersuchte er Frequenzmodulation und Zeit-Frequenz-

---

[972] So z. B. Colin Cherry (1976:1/120):Gabor »always thinks of himself as an engineer, as an inventor ... but he is really a theoretical physicist«.
[973] So z. B. Shannon (1977:2/1). Es bestand nach dem Krieg auch eine gewisse Korrespondenz zwischen Hartley und Gabor (Hartley Collection, A. I .P.)
[974] So z. B. Riordan (1977:2/593)
[975] So z. B. Riordan (1977:2/593)
[976] IEEE Directory (1976:4)
[977] Genau zitierte er:
3 Quellen zur klassischen Physik, 6 zur Fourier-Analyse, 10 zur Akustik, 12 zur Quantenmechanik, 14 zur Nachrichtentechnik. Die institutionelle Herkunft der letzeren wurde in Teil I aufgeschlüsselt.
[978] Auf Lüschen (1932)

Multiplextelefonie[979] – d. h. Techniken, bei denen Frequenzänderungen in der Zeit eine besondere Rolle spielten, sowie die akustischen Wahrnehmungseigenschaften des Ohres.[980]

Der *Gültigkeitsanspruch* seiner Theorie jedoch erstreckte sich auf

> »the analysis of information and its transmission by speech, telegraphy, telephony, radio or television« (Gabor; 1946:429)

das heißt auf die gesamte Nachrichtentechnik.

Diese Differenz von empirischer Fundierung und Gültigkeitsanspruch sollte hervorgehoben werden. Sie galt auch bei anderen Ansätzen zu einer Kommunikationstheorie – wo jedoch z.T. Techniken wie die PCM einen Anhaltspunkt auch für die *technische* Rückführung analoger Übertragunstechniken auf die Telegrafie boten.

Das prinzipielle Ziel seiner TOC gab Gabor so an:

> »The purpose of these three studies is an inquiry into the essence of ›information‹ conveyed by a channel of communication and the applications of the results of this inquiry to the practical problem of optimum utilization of frequency bands.« (a.a.O.:429)[981]

Eines der tieferen und langfristigeren Motive Gabors bei der Entwicklung seines Informationsbegriffes war das tiefere Verständnis des Konzeptes der Frequenz, dessen »philosophische« Fundierung. Mit dem praktischen Motiv allerdings, Frequenzbandbreite einzusparen, bewegte er sich (hinsichtlich der Techniken, die er untersuchte) nach dem Krieg nicht im Strom der nachrichtentechnischen zeitgenössischen Diskussion.

Für Gabors Analyse der Signalebene der Nachrichtenübertragung war das »fundamental principle of communication« (a.a.O. :430) in der TOC die Beziehung zwischen Übertragungszeit und Bandbreite der Übertragung – das »Hartley-Law«, das »Zeitgesetz« bzw. das – später so genannte – Abtasttheorem. Dafür leitete er den folgenden Satz ab:

> »In whatever ways we select N data to specify the signal ih the interval, we cannot transmit more than a number $2(f_2-f_1)$Tau of these data, or of their independent combinations by means of the $2(f_2-f_1)$Tau independent Fourier coefficients« (a.a.O.:430)

Ein Ergebnis, das in der Nachrichtentechnik zunächst nicht neu war. Ausgangsmethode war dabei die Fourieranalyse mit ihren Darstellungsmöglichkeiten für Signale in Zeit- oder Frequenzbereich.

Für die Tatsache jedoch, daß unsere »physical intuitions« (:431), die realen Erfahrungen der Wahrnehmung, das Phänomen der sich *in der Zeit ändernden Frequenzen* kennen, die Tatsache, daß

> »speech and music have for us a definite ›time pattern‹ as well as a ›frequency pattern‹« (a.a.O. :431),

was dem Ideal der Fourieranalyse der *alternativen* Zeit- und Frequenzabhängigkeit nicht entspräche, seien bislang keine mathematischen Methoden der Analyse entwickelt worden.

---

[979] Gabor (1946:438)
[980] ebenda: 442 ff.
[981] E.M. Deloraine, einer der wichtigsten Radar-und Pulskommunikationstechniker, hatte, entgegen diesem Gabor'schen Programm zur *Verringerung* der Übertragungsbandbreite das Problem der besten Nutzung des *Überflusses* an Bandbreite als das »fundamental problem to communications engineers« bezeichnet (1944:91). Earp ging in seinem Versuch, aus einer Idealisierung der PCM ein allgemeines Effizienzmaß der Übertragung zu gewinnen, noch darüber hinaus und äußerte die Vermutung, daß »the natural attempts to minimize bandwidth actually retarded the communication world in its next major step.« (1948:179)

Deshalb ging Gabor daran, aus dem fortschrittlichsten Methodenapparat der Physik, dem der Quantenmechanik »adequate mathematical methods« (:431) in Akustik und Nachrichtentechnik zu übernehmen. Diesen *Methodentransfer* sah er als

> »one of the main objects of this paper« (a.a.O. :431)

an.

In seinen Arbeiten zur Elektronenmikroskopie, einem direkten Teilgebiet der Physik, hatte sich Gabor zur gleichen Zeit ausführlich mit der Begrenzung von deren Leistungen durch die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation befaßt.[982]

Ausgehend von einer komplexen Signaldarstellung erhielt er eine komplexe Operatorengleichung, aus der sich die Darstellungen der Signale als Funktion der mittleren Frequenz bzw. ihrer mittleren Dauer als Grenzfälle ergaben. Der Übergang zwischen beiden Aspekten erfolgte formal ähnlich, wie der Übergang von klassischer zu Quantenmechanik mit Hilfe der Ersetzung von Parametern durch Operatoren.[983] Schließlich

erhielt er (nach einigen weiteren Rechnungen)

> »the uncertainty relation ... which is at the root of the fündamental principle of communication« (a.a.O.:434),

nämlich

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq \frac{1}{2}$$

für die mittlere Dauer und die mittlere Bandbreite eines Signals. In dem von ihm definierten Informationsdiagramm (:435 f.), einer Zeit-Frequenz-Ebene, definierte diese Beziehung eine minimale Fläche:

eine »information cell« (:436), »quantum of information« (:435) oder »acoustical quantum« (Gabor; 1947a : 591), d. h. ein Produkt aus Zeit und Bandbreite, das gerade ein unabhängiges Datum repräsentieren könne.

Von einem idealen Instrument könne ein Signal gerade dann von einem anderen unterschieden werden, wenn es in diesem Diagramm diese Einheitsfläche der Größe 1/2 einnehme. Eine solche Zelle nannte Gabor daher »Elementarsignal« oder ein »Logon« (:435) als Einheit der übertragenen Information.

Dies stellte eine Verallgemeinerung des Nyquistschen Konzeptes des Signalelementes – in seiner Zeit- oder Frequenzdarstellung dar.[984] Gabor zerlegte Signale also weder in *elementare Zeitabschnitte* (was früher durch die Telegrafie nahegelegt worden war), noch in *reine Frequenzkomponenten* (was durch Telefonie und Tonfrequenztelegrafie inspiriert worden war) – sondern in *Impulse,* im Idealfall in Gauß'sche Impulse[985] die über ein festes Produkt $\Delta f \cdot \Delta t$ definiert waren. Diese Darstellung war inspiriert worden durch die technischen Bereiche, in denen Frequenzänderungen eine Rolle spielten: Frequenzmodulation, Zeit-Frequenz-Multiplex in der Telefonie und subjektives Hörerlebnis.

---

[982] Gabor (1948:131 ff.)
[983] Gabor (1947:369)
[984] auf den sich Gabor auch bezog (1928)
[985] Impulse von der Amplitudenverteilung einer Gauß'schen Normalverteilung.

Für diese Zerlegung in Elementarimpulse ergaben sich, wie bei jeder Frequenzdarstellung, Probleme mit dem Erhalten der Auffassung der Kausalität. Mit diesem Aspekt diskutierte Gabor aber eher philosophische Probleme der Physik, über die man sich in der Nachrichtentechnik gemeinhin wenig kümmerte.

Ein Logon war dabei genau das nachrichtentechnische Aquivalent einer Einheit der Peirce'schen Informationsfläche – von der zwar Hartley, wohl kaum aber Gabor gewußt haben dürfte.

Seine so fundierte *»theory of information«* (:435) suchte Gabor dann im zweiten Teil der Arbeit für die Einordnung und Voraussage von Experimenten zur Hör-Wahrnehmung fruchtbar zu machen.

Entsprechend dieses Anwendungsbereiches veröffentlichte er 1947 auch eine Kurzfassung seiner Theorie, die explizit auf den Gegenstandsbereich (und die Fachgemeinschaft) der subjektiven Akustik zurechtgeschnitten war. »Acoustical Quanta and the Theory of Hearing« in der Zeitschrift Nature. Darin wandte er sich an Physiker und Physiologen und wies auf die »considerable physiological significance« (Gabor; 1947a; 592) seines Konzeptes der »quanta of information« oder »quanta of sound« (ebd.) hin.

Im zweiten Teil von TOC verwies er auf eine Anregung des Physikers Lande (1930:17-20) und des Akustikers Stewart (1941) die Unbestimmtheitsrelationen der klassischen Physik und der Quantenmechanik für die Akustik fruchtbar zu machen.

Stewart hatte die Übernahme dieses Prinzips in die Akustik als für

> »very helpful in suggesting new experimental work« (Stewart; 1931:325)

befunden und Experimente über die Erkennbarkeit der Frequenzänderungen von Tönen in Abhängigkeit von deren Höhenlage und Dauer vorgeschlagen. Dieser Vorschlag wurde 1935 noch einmal von W.E. Kock (Forschungsstab der Baldwin Piano Company, Cincinnati) erneuert. Diese theoretischen Vorschläge hatten sich im Rahmen der stets immer wieder in der Akustik anzutreffenden Versuche der gegenseitigen Befruchtung von Physik (Mechanik) und Elektro(Nachrichten)technik bewegt – ein gängiger interdisziplinärer Modelltransfer unter dem allgemeinen Aspekt der »Schwingungsforschung«[986]

Ebenfalls auch in den 30'er Jahren gab es eine Reihe von Experimenten, die eben die Abhängigkeit der Ton(Frequenz)wahrnehmung des Ohres von Dauer und Höhenlage des Tones (Bürck, Kotowski, Lichte; 1935a) bzw. die Wahrnehmung von Intensitätsdifferenzen in Abhängigkeit von Frequenz(Höhenlage) des Tones und seiner Dauer untersuchten (Bürck, Kotowski Lichte; 1935) Diese Autoren (in F+E der Telefunken AG in Berlin) machten bei ihrer Untersuchung Gebrauch von einer zweidimensionalen Signaldarstellung durch Strecker (1935)[987] in einer Δ t – f (Dauerfrequenz)-Ebene. Man erinnere sich daran, daß diese Streckersche Signaldarstellung bereits bei dessen Versuchen eine Rolle gespielt hatte, die Hartley'sche Theorie auf den Fall der Telefonie zu erweitern.[988] Es führt hier ein direkter Weg von den deutschen Arbeiten zu der Gabors -die in mehrfacher Hinsicht den deutschen Arbeiten zur Nachrichtentheorie verwandter war als den amerikanischen. Ebenso bezog Gabor sich auch in diesem Zusammenhang auf Küpfmüllers Arbeit von 1931 und dessen Zeitgesetz-Konstante (später: relativer Frequenzbedarf eines Buchstabens).[989] Außerdem stützte er sich noch auf eine Serie von Experimenten über die akustische Wahrnehmung von frequenzmodulierten Tönen (Shower, Biddulph; 1931).

---

[986] Arbeiten, die diesen Modelltransfer untersuchen, sind z.B. Mason (1941), Firestone (1933), Miles (1943), Knowles (1941). W.E.Kock (1937) betrachtete z.B. die schwingende Saite als eine elektrische Übertragungslinie

[987] in TFT 24; 1935,1

[988] siehe Teil II.3.3.2

[989] die er allerdings nur in den von Lüschen (1932) zitierten Teilen kannte (Gabor; 1946:442)

Soweit der experimentelle Hintergrund seiner TOC.

Anhand von deren Daten verglich er im weiteren Verlauf die Leistung des Ohres mit der eines idealen Instrumentes, das stets nur eine Information von 1 Logon, d. h. einen Puls von $\Delta t \cdot \Delta f = 1/2$ zur Erkennung eines Signals benötigte.

Daraus folgend stellte er zwei Fragen an seine Theorie:[990]

1 Wieviel Logons müssen je Sekunde für *verständliche* Sprechübertragung übermittelt werden – d. h. welches Produkt aus Zeit und Bandbreite benötigt diese mindestens. Das war *die* alte Frage der Telefonie.

2 Wieviele Logons müßten je Sekunde übertragen werden »for the reproduction of speech or music which the ear cannot distinguish from the original« (:442) – d. h. welches Bandbreite-Zeit-Produkt benötige man mindestens zur Übertragung um dem Ohr den Eindruck *originalgetreuen* Empfanges zu geben.

Unter dem irritierenden Eindruck des Vocoder (und seiner geringen Bandbreite bei der telegrafischen Übertragung von Formantsignalen) und der mit dem Begriff der Verständlichkeit notwendig verbundenen Sprachstatistik[991] gab er jedoch sogleich jeden Versuch der Beantwortung der ersten Frage anhand seiner Theorie auf.[992]

Die zweite Frage führte ihn auf die nähere Untersuchung der Eigenschaften des Ohres und auf die technischen Voraussetzungen für sein Ziel der höchstmöglichen Bandbreitenökonomie bei der Sprachübertragung.

Unterschiede in der Trenneigenschaft von Elementarsignalen bei idealem Instrument und Ohr könnten dann dahingehend genutzt werden, daß nur die für die Erkennung durch das ideale Instrument notwendige Bandbreite übertragen zu werden brauche und der für die akustische Wahrnehmung des Ohres notwendige »ballast« (Gabor; 1947:383) erst im Empfänger wieder hinzugefügt zu werden brauche.
Seine entsprechende Analyse der genannten Experimente ergab, daß »considerable economy might be possible« (:444) »by condensing information« (:445).

Im 3. Teil schließlich schlug er eine praktische mechanische »kinematografische« Methode zur Frequenzkompression und -expansion vor, die sich der in BTH vorhandenen Detailtechniken der Tonfilmprojektion bediente. Diese beruhte im wesentlichen auf einer nichtlinearen Frequenzkompression und -expansion mit Hilfe des Doppler-Effektes: rotierende Schlitze tasteten die aufgezeichneten Sprechsignale ab und approximierten sie durch Elementarsignale. In einer weitergehenden Arbeit, »New Possibilities in Speech Transmission«, konzentrierte sich Gabor 1947 auf die Verbesserung dieser Methode, mit der er immerhin verständliche Übertragung bei bis zu 6-facher Einschränkung der Übertragungsbandbreite erreichte.[993]

3.1.3 HOLOGRAFIE

Gabors Arbeiten an Elektronenmikroskopie und Holographie einerseits und an der Kommunikationstheorie andererseits standen etwa im analogen engen Zusammenhang zueinander, wie die Arbeiten

---

[990] Gabor (1946:442)
[991] »the higher functions of intelligence ... which make distorted speech intelligible« (a.a.O. :442)
[992] Unter Bezug auf den Vocoder: »A precise answer to the first question will not be attempted« (Gabor; 1946:442)
[993] Gabor (1947:369)

Shannons zu Kryptografie und Kommunikationstheorie. An jeweils beiden Bereichen arbeiteten beide Autoren jeweils zu gleicher Zeit.

Das Problem, zu dessen Lösung Gabor die Methode entwickelte, die sich später als Holographie[994] entpuppte, wurde von Leith anschaulich beschrieben:

> »Holography m i g h t have been invented in many ways, for many possible purposes. But to correct the abberrations of the electron microscope by recording the electron waves complete in phase and amplitude and later regenerating them, complete with the aberrations – which could now been compensated by using the well-proved techniques of the lens designer – is an incredibly brilliant framework in which to conceive holography.« (Leith; 1972:653).

Tatsächlich entstand die Lösung dieses Problems, auf die Gabor im Jahr 1947 kam[995] – und die ihm später eine weite Schar diese Methode weiterentwickelnder Forscher sowie 1971 den Nobelpreis einbrachte – in engem Zusammenhang mit seinen von 1945-1947 laufenden Versuchen, der Frequenzkompression durch Aufzeichnung, Abtastung bzw. Überlagerung mit einer Folge von Elementarimpulsen und Rekonstruktion kontinuierlicher Schwingungsverläufe in der Telefonieübertragung. Dort war gerade ein Schlüsselproblem, daß bei der von ihm 1947 veröffentlichten Einrichtung die Phaseninformation *nicht* erhalten wurde, was für die Sprache, nicht aber Musik- oder optische Übertragung ausreichte. Gerade diese waren es jedoch (in Gestalt von Programmübertragungsstrecken in Rundfunk und TV), die der Bandbreitenreduktion bedurften. Diese Methode ging der holografischen zeitlich und in der ihr fehlenden Phasenerhaltung inhaltlich voraus.

Für beide Lösungen benutzte Gabor die gleichen Basistechniken der Filmaufzeichnung, bei beiden Experimentserien arbeitete er mit demselben Techniker zusammen,[996]

Das Problemlösungsverfahren, das Gabor im Zusammenhang mit der Sprechübertragung lange beschäftigt hatte und das sich dort nicht als sonderlich fruchtbar erweisen sollte,[997] da sich der allgemeine technische Hintergrund (von Gabor unbemerkt) in der Kriegsforschung über die Ausgangsproblemstellung hinwegentwickelt hatte, übertrug er weiterentwickelt auf ein Problem des ihn lange beschäftigenden Gebietes der Elektronenoptik, das sich nicht durch die Kriegsforschung in dramatischer Weise verändert hatte.

3.1.4 UNMITTELBARE REAKTIONEN UND GÜLTIGKEITSBEREICH DER TOC

Da die Phasenbeziehungen zwar keine Rolle bei der Wahrnehmung von Sprache, wohl aber bei der von Musik spielten, mußten erste, in einer Diskussion 1947 vorgeschlagenen Anwendungsmöglichkeiten bei der Programmübertragung von Gabor selbst als nicht realistisch zurückgewiesen werden.[998] Phasenbeziehungen änderten sich durch sein Frequenzkompressions- und Rekonstruktionsverfahren. Ebenfalls in der Diskussion von 1947, die an den Vortrag seines Folgepapiers (Gabor; 1947) anschloß,

---

[994] 3-dimensionale Rekonstruktion der Bilder von Objekten, die durch ein Interferenzmuster kohärenter Wellenzüge gewonnen wurden. Technische und historische Erklärung siehe z. B. Gabor (1972).
Gabors Erfindung der holografischen Technik, im selben Forschungskontext wie die Kommunikationstheorie entstanden, hatte noch größere Schwierigkeiten als diese zunächst Wirkungen zu zeitigen. Dieser »denial to Gabor, for many years, of the recognition to which he was entitled« (Leith; 1972:653) war, wie Leith an anderer Stelle hervorhebt, keinesfalls durch technologische Gründe allein zu erklären (wie etwa die Nichtexistenz der Lasertechnik):
»There is no technological reason why holography could not have been a thriving and sustained activity from the very beginning« (Leith; 1972: 654)

[995] in Wilford (1971:28) und Gabor (1972:655)

[996] Williams, dem er dafür in (1946:457) und (1948c :778) dankte. Natürlich stand die Holografie vor allem im Kontext von Gabors Arbeiten zu Optik und Elektronenoptik. In (1972) betont er diesen Aspekt.

[997] So findet Gabors Vorschlag zur Frequenzbandkompression nicht einmal Erwähnung in einschlägigen Arbeiten wie Vilbig, Haase (1956)

[998] Gabor (1947:390)

wurden zwei weitere Schwierigkeiten seiner Methode der Bandbreitenreduktion für die Sprachübertragung deutlich:

Für die Telefonie innerhalb der Kontinente hatten sich mit den während des Krieges weiterentwickelten Techniken der Mikrowellen-Pulskommunikation, wie auch der Wellenleiter- und Koaxialkabeltechniken weite neue Bandbreitengebiete erschlossen, für die die Unterbringung von *Sprach*-Übertragung keine Herausforderung war. Anders war dies mit der sich anbahnenden *TV-Programm*übertragung, die wegen der Phasenabhängigkeit von Musik- und optischer Wahrnehmung kein Gegenstand für seine Technik war. Vielmehr war das Fernsehen als eine aus der Telegrafie abgeleitete Technik viel eher den Methoden der Analyse digitaler Systeme zugänglich (Kodierung etc.). Andererseits hätten die Funkfernsprechstrecken über den Atlantik ein mögliches Anwendungsfeld geboten, wenn in Gabors Theorie die für diese Technik aktuellste Frage nach den Grenzen der Übertragung durch das *Rauschen* enthalten gewesen wäre. Dieser Aspekt spielte jedoch in Gabors Theorie keine Rolle – wie bereits ein Teilnehmer der Diskussion von 1947 kritisierte.[999]

Zur gleichen Zeit wurden schließlich auch die Resultate der US-Kriegsforschungen (z.T. aus »Ciphony«-Entwicklungen entstanden) in den Bell Laboratories veröffentlicht, die – ohne den physikalisch/philosophischen Überbau – den Gaborschen Informationsdiagrammen äquivalente Darstellungen als »sound spectrograms« oder »visible speech« enthielten.[1000]

Diese waren direkte Aufzeichnungen gesprochener Sprache in der Zeit-Frequenz-Ebene, in denen die jeweiligen Amplituden durch den Grad der Schwärzung ausgedrückt waren und ließen einzelne Laute oder Lautkombinationen direkt als Einheiten erkennen. Diese Arbeiten wurden Gabor erst nach Fertigstellung seiner eigenen Arbeiten bekannt. Sie hatten den Vorteil des Anschlusses an direkte Diskussionen in den Bereichen Sprechen/Hören und subjektiver Akustik, der unmittelbaren praktischen Benutzbarkeit und der Abwesenheit der völlig neuen quantenmechanischen Methode in der Nachrichtentechnik. Während die wichtigsten Ergebnisse dieser BTL-Forschungen in einem Sonderheft des Journal of the Acoustical Society of America veröffentlicht wurden und so direkt an die geeignete Audienz gerichtet waren, erschienen Gabors Arbeiten im britischen Journal of the Institution of Electrical Engineers – und zwar in der *Funk* (Radio)Sektion – für die wie gesagt die entscheidende Frage die *(von Gabor ignorierte)* des Rauschens war.

Hier, wie auch im weiteren Verlauf der Entwicklung der Gaborschen Theorie hatte dessen – durch den generellen Anspruch als »Kommunikationstheorie« und »theory of information« motivierte Unterbringung in den nachrichtentechnischen Audienzen eher zunächst eine schädliche Wirkung auf deren Entwicklungschancen. Den dort aktuellen Fragen wurde die Shannonsche Theorie eher gerecht.

So »driftete« die Aufnahme seiner Theorie später in Richtung auf Optik und subjektive Akustik und wurde dort – trotz ihrer anfänglichen Schwierigkeiten in der Nachrichtentechnik – mit einiger Verzögerung zum Ausgangspunkt einer recht umfangreichen weiteren Diskussion der Signalanalyse, Theorie des analytischen Signals und einer strukturellen Informationstheorie.[1001]

Einige wenige unmittelbare Weiterentwicklungen seiner Theorie gab es dennoch bereits *vor Erscheinen der Shannonschen Theorie* – und zwar -was nach allem oben Gesagten nicht verwundern sollte – ebenfalls in Europa, nämlich in Frankreich, indem besondere nachrichtentechnische Entwicklungen während des Krieges so gut wie gar nicht stattgefunden hatten,[1002] von J. Ville vom Laboratoire de

---

[999] P. Redyment in Gabor (1947:389)

[1000] Gabor weist (1946:432) selbst auf diese ihm erst später bekannt gewordenen Arbeiten hin: R.K. Potter, »Visible Patterns of Sound« in Science; 9.11.1945 und »visible Speech«, Bell Labs. Record; Jan. 1946

[1001] Wie sie heute vor allem von Barrett in (1972, 1972(a), -(b), -(c), 1973) vertreten wird.

[1002] Dazu existiert ein bezeichnendes Dokument (dessen Kenntnis ich Prof. Karl-Heinz Ludwig verdanke):
In seinem »Rechenschaftsbericht über die Hochfrequenzforschung« vom 16.12.1943 stellte der Reichsbeauftragte für die HF-Technik, Plendl, fest, daß bis Ende 1942 »die an sich brauchbare Forschungskapazität des Auslandes (Holland, Frankreich) ... praktisch nicht ausgenutzt« worden war.
Quelle in Ludwig (1974:258)

Telecommunications de la Societe Alsacienne de Constructions Mécaniques. In seiner 1948 erschienen Arbeit »Theorie et Applications de la Notion de Signal Analytique« nahm er das Gaborsche Konzept der Zerlegung in Elementarsignale (»analytische Signale«) auf. Auch seine anvisierten Anwendungsbereiche waren Frequenzmodulation, harmonische Analysis und deren physikalische Interpretation. Auch er betrachtete das Problem des Rauschens, der Störungen der elektrischen Nachrichtenübertragung nicht.

3.2 KOMMUNIKATIONSMODELLE VON NACHRICHTENTECHNIKERN

VORBEMERKUNG

In den späten 40'er Jahren erschien eine Reihe von Arbeiten innerhalb der Nachrichtentechnik allein, die Versuche zum Gegenstand hatten, eine allgemeine Theorie der Nachrichtenübertragung zu formulieren.[1003] Diese Arbeiten zeigen deutlicher als die Gabors z. B., welche Probleme innerhalb der Nachrichtentechnik der Nachkriegszeit aktuell und welche Methoden gebräuchlich waren.

Die Arbeiten standen auf – vergleichsweise – niedrigerem theoretischen Niveau und beruhten etwa auf ähnlichen technischen Plausibilitätsüberlegungen wie die Arbeit Hartleys (1928).

In diesen Arbeiten – zu denen man prinzipiell auch die bereits erwähnten Arbeiten Hartleys (1946) und Küpfmüllers (1949) zählen kann – wurde im allgemeinen versucht, die neuen Phänomene, die sich in der Nachrichtentechnik während des Krieges gezeigt hatten, in systematische Zusammenhänge zu bringen bzw. mit Rücksicht auf diese Phänomene die alte Gesetze zu *aktualisieren.*

Vor allem zwei neue Phänomenbereiche mußten den alten Gesetzen (wie »Hartley-Law« und »Zeitgesetz« oder auch dem Konzept der Einseitenbandmodulation als Übertragungsideal) neu zugeordnet werden:

- der neue Aspekt, unter dem die Übertragungsbandbreite seit Armstrong (1936) gesehen wurde

- das über die Qualität der Übertragung entscheidende Signal/Rauschverhältnis.

In beiden Problembereichen – Bandbreitennutzung und Signal/Rausch-Verhältnis –, die oft als bestimmend für die Grenzen der Singal»menge« und »-qualität« intuitiv verstanden wurden, herrschte nach dem Krieg unter den Nachrichtentechnikern beträchtliche Verwirrung. Dafür seien drei exemplarische Äußerungen dieser Zeit angeführt: Zum Problem der Bandbreitennutzung:

> »At the present time, there appears to be *considerable confusion* concerning what use can be made of frequency bandwidth; *various established principles do not appear to be coordinated in one general theory.* Such a coordination should, it is believed, not only do much to establish a useful *comparison between the efficiencies* of well-known expanded-band systems of transmission, but may even permit us to specify a *new ideal* or maximum possible efficiency for the transmission of information according to the frequency bandwidth available.« (Earp; 1948:178)[1004]

[1003] Andere Autoren, die sich an derartigen Konzepten versuchten, aber ohne etwas publiziert zu haben, waren W.S. Percival (C.E.M.I.Ltd. in Großbritannien) (Cherry; 1976:2/317 und WS. Percival an N. Wiener; 31.1.1951, Wiener papers MIT, 7:18) und H. Sullivan (Shannon; 1948:24)

[1004] Systeme wie die Frequenzmodulation, die bewußt breitere Übertragungsbandbreiten benutzen, als die Bandbreite der zu übertragenden Nachricht in Einseitenbandmodulation wäre.

Soweit Earp in einer Vorbemerkung zu seinem Versuch, ein allgemeines Modell der Kommunikation aufzustellen.

Seinen Versuch, eine systematische Übersicht über die Signal/Rausch-Verhältnisse bei den verschiedensten Puls-Modulationsverfahren zu etablieren, leitete Z. Jelonek mit der Bemerkung ein, die[1005]

> »formulae for signal/noise ratios in various pulse-communication systems,... *given by different authors ... did not agree with one another*, differing not only in numerical factors, but also in *structure.* Evidently, some at least must be incorrect; even if some were right it was difficult to see which, since *the proofs and arguments used were not rigid* and were based on a loose engineering approach« (Jelonek; 1947:533)

Das dafür von ihm entwickelte System war eine umfangreiche *Falltabelle* mit einer detaillierten Liste von Fallunterscheidungen.[1006] In der Diskussion, die sich anschloß, antworteten Jelonek (und die anderen Autoren)[1007]

> »Several speakers implied that there is a kind of law relating the signal/ random noise ratios in various systems to the bandwith occupied by the sidebands produced by those systems ... lt is *difficult to find a sound basis on which to establish such a law,* and it seems that *each system should be judged on its own merits without referring to any general law.«* (Cooke, Jelonek, Oxford; 1947:588)

Eine Basis für die Entwicklung einer derartigen Beziehung stellte das »Hartley-Law« dar – allerdings vor allem in den USA und weniger in Großbritannien.[1008] Eine andere Basis – in Deutschland – war das »Zeitgesetz«. Unter den Kommunikationsmodellen der Nachrichtentechniker waren Arbeiten, die sich auf Hartley stützten, solche, die sich auf Küpfmüller (1931) stützten und solche, die weder auf Zeitgesetz noch Hartley-Law zurückgingen.

Allen diesen Arbeiten ist zweierlei gemeinsam: einmal waren sie *ausschließlich durch Probleme und Lösungsansätze aus dem Bereich der Nachrichtentechnik selbst inspiriert.* Damit unterschieden sie sich von den drei »großen« Arbeiten, Wiener (1942), Gabor (1946) und Shannon (1948), die alle Resultate der Integration von Problemen der Nachrichtentechnik und in anderem Kontext entwickelter Lösungsmethoden waren!

Zum anderen konnte der Erfolg dieser Arbeiten in keinem Fall mit dem einer der drei »großen« Kommunikationstheorien konkurrieren. Es ist anzunehmen, daß jenes und dieses Charakteristikum miteinander verknüpft waren, ebenso wie die erstgenannte Eigenschaft von Kontext der Forschung, Forschungsbedingungen, Ausbildung und persönliche Charakteristika der Autoren abhing.

Am 12.11.1947 hielt die Institution of Radio Engineers der USA in New York eine Tagung unter dem Titel »Recent Advances in the Theory of Communication« ab, die man wohl als den ersten Kongress zur Kommunikationstheorie bezeichnen kann. Auf dieser Tagung wurden drei Papiere präsentiert, die wesentliche der unterschiedlichen Typen der neuen Konzepte vorstellten: Shannons »Transmission of Information«,[1009] A.G. Clavier's »Evaluation of Transmission Efficiency According to Hartley's Express ion of Information Content« und C.W. Earp's »Relationship between Rate of Transmission of Information, Frequency Bandwidth and Singal-to-Noise Ratio«. An der Diskussion nahm auch W.G. Tuller teil.

[1005] Hervorhebung - F.H
[1006] Jelonek (1947:541 f.)
[1007] Hervorhebung F.H.
[1008] wo diese Diskussion stattfand
[1009] So der Titel seines dortigen Vertrages, der identisch mit dem der Arbeit Hartley's (1928) war.

Von dieser Tagung drang die erste Fassung des neuen Ausdruckes für die Kapazität eines Übertragungskanals in die Öffentlichkeit – im Februar 1947.[1010]

3.2.1 A.G. CLAVIER, R.V.L. HARTLEY,[1011] 5. OKADA, W.G. TULLER:

DIE AKTUALISIERUNGEN DES HARTLEY-LAW

> Diese Arbeiten bauten auf dem Hartley'schen Konzept (1928) auf. Sie gelangten zu untereinander durchaus vergleichbaren Resultaten für die Übertragungskapazität eines gestörten Nachrichtenkanals. Vor dem Hintergrund der technischen Problemstellung der Zeit war es offenbar nicht allzu kompliziert, aus Hartley's Modell eine derartige aktualisierte Beziehung zu entwikkeln.

Nach den deutschen Arbeiten der 30'er Jahre waren es zuerst die Japaner Satio Okada und Sakae Hujiki, die im Jahr 1940 in ihrem Aufsatz »The intrinsic Substance and Metrization of Communication« das Konzept Hartleys zu generalisieren und auf »such problems as secrecy of message transmission, narrowing frequency band« (Okada, Hujiki; 1940:64) anzuwenden suchten.

Die Beziehung für die Kapazität eines Übertragungskanals, die sie darin ableiteten, war jedoch nicht klarer als die in den deutschen Arbeiten zuvor angegebenen Ausdrücke.[1012] Sie berücksichtigten darin auch noch nicht die Störungen der Übertragung. Ihre Arbeit war – da lediglich als kurzer Abstract auf Englisch, ansonsten aber nur auf Japanisch erschienen – ohne Einfluß auf die weitere Entwicklung.

Echte Fortschritte gegenüber Hartley's Konzept von 1928 brachten erst die Arbeiten von Hartley (1946), Tuller (1949) und Clavier (1948). Dabei ist hier der Ausdruck »Fortschritte« direkt angebracht, da die genannten Arbeiten die von Hartley abgeleiteten Beziehungen lediglich präzisierten und – der technischen Situation entsprechend – aktualisierten.

3.2.1.1 W.G. TULLER'S KONZEPT

Die 1949 erschienene Arbeit W.G. Tullers, »Theoretical Limitations on the Rate of Transmission of Information« - veröffentlichte Fassung einer MIT-Ph.D.Dissertation von 1948 – ist die neben den großen Kommunikationstheorien bekannteste derartige Publikation.

Zuweilen wird die Beziehung für die Kapazität eines gestörten Übertragungskanals auch als die »Shannon-Tuller« Formen bezeichnet.[1013]

Tuller (Jg. 1918) hatte am MIT Elektrotechnik studiert und 1937 – im Rahmen der dortigen Ausbildung Einsätze in der Western-Electric Produktionsabteilung und in der Entwicklungsabteilung der Bell Laboratories absolviert.[1014] Er war einer der Forschungsassistenten von Prof. Bowles am MIT, der

---

[1010] In einem Editorial in der Zeitschrift Electronics unter dem Titel »Hartley« (Fink; 1947). Eine weitere ausführliche Diskussion des neuen Gesetzes brachte Fink (1948).
[1011] Die bereits in 11.3.2.5 besprochene unpublizierte Arbeit Hartley's »Television from the Information Viewpoint« (1946)
[1012] und zwar: Das Produkt aus Zeit und Bandbreite ist proportional dem Logarithmus der Zahl der Kombinationsmöglichkeiten von e_i verschiedenen Elementen in Folgen von je N Elementen:
$F\ t = k \log c = K\ N \log e_i$. (a.a.O.)
[1013] in Brillouin (1956): »Hartley-Tuller-Shannon« Formel
[1014] Tuller (1948:64) (Lebenslauf in Ph.D.Arbeit)

dort die Forschung in der Hochfrequenz-Technik eingeleitet hatte und dessen Labor die Keimzelle des späteren Radiation Laboratory des MIT darstellte.[1015]

So arbeitete Tuller im Radiation Laboratory und dann in der Raytheon Company während des Krieges in der Radar-Entwicklung und 1946-47 im Research Laboratory of Electronics am MIT. Die wissenschaftlich/technische Laufbahn Tullers ist eine derjenigen, für die der typische allgemeine Hintergrund in den Bewegungen und Strukturen der Kriegsforschung leicht angebbar ist.[1016]

In Informationsbegriff und Terminologie lehnte sich Tuller vollständig an Hartley's Konzept an, das er überhaupt als den zu seiner Theorie »most direct ancestor« (1948:6) ansah. Die Arbeiten Gabors (1946) und Wieners (1942) waren Tuller bekannt, und er bezog sich, teils sich davon absetzend, teils zustimmend auf diese, ohne sich jedoch detaillierter deren Methoden zu bedienen.

Die Techniken, auf die er sich in der Entwicklung seiner weiteren Überlegungen bezog, waren Frequenzmodulation, Puls-Code-Modulation (1949: 473), Anspruch, für die Gültigkeit seines Modells jedoch meldete er für »most communication systems« (ebd.) an. Über diese hinaus diskutierte er mögliche Anwendungen seiner Ergebnisse in Radar-, Fernmeß- und Servotechnik (1949:476) und deutete Anwendungsmöglichkeiten in der Technik digitaler Computer an.

Die Untersuchung Tullers begann mit einer Kritik der Hartley'schen Arbeit (1928), die mit derjenigen identisch war, die bereits 1928/29 von MacColl an Nyquists Arbeit geübt worden war: Im Idealfall (ohne Rauschen in der Übertragung – was erst Tuller explizit machte) könne bei einer begrenzten Übertragungsbandbreite jede beliebige Informationsmenge übertragen werden.

Genau wie MacColl (ohne jedoch von dessen Memorandum Kenntnis zu haben) schlug Tuller ein »practical system which violates these theories« (1948: 3) vor, ein »clearing system« zur Korrektur der Intersymbolinterferenzen.

Um nun das real die Übertragungskapazität begrenzende Phänomen des Rauschens in das Hartleysche Konzept zu integrieren, stellte Tuller ähnliche Plausibilitätsüberlegungen an, wie sie bereits für Hartley (1946) geschildert wurden und die im wesentlichen auf der Vorstellung der Approximation der idealen »Informationsfunktion« durch eine Treppenfunktion mit einer durch *die Übertragungsbandbreite begrenzter »Stufenweite« (in Zeit-Richtung) und einer durch das Verhältnis von Signal- zu Störamplitude begrenzten »Stufenhöhe« (in Amplituden-Richtung)* beruhte.

Aus diesen Überlegungen leitete er eine Beziehung für die »quantity of information contained in a system« (1949:475)

$$H \leq k \cdot 2BT \cdot \log(1 + C / N) \quad (1949:476)$$

ab, mit der Konstante k, Übertragungsbandbreite B und -dauer T und dem Verhältnis von mittlerer Signal- zu Rauschamplitude, C/N. Das »kleiner-gleich« Zeichen bezieht sich dabei auf den Unterschied, den Tuller wie Hartley (1946) zu machen gezwungen war, zwischen übertragener »information function« (:475) und dem »amount of actual irreducible information, contained in such a function« (ebd.). Das Gleichheitszeichen in der obigen Beziehung gelte nur dann, wenn die übertragene Funktion eine »with maximized information« (ebd.) darstelle, d. h. interne Abhängigkeiten der Amplitudenwerte der Übertragung voneinander ausgeschaltet und alle diese gleichwahrscheinlich wären. Sein Schluß:

[1015] Wildes (1971:5-69)
[1016] vgl. III .1

»any information function, which is not one of maximized information will require more time, bandwidth or power to transmit a given quanti.ty of information than will the maximized information function.« (1949:476)

In Shannon`scher Sprache hieß das, den geringsten Aufwand an Bandbreite und Sendeleistung benötigt die Übertragung redundanzfreier Information.

Da Tuller an keiner Stelle auf den allgemeinen Fall der unterschiedlichen Symbolwahrscheinlichkeiten in einer Nachrichtenquelle einging, kannte er auch nicht den Begriff der Redundanz. Entscheidender noch, der Nutzen der Redundanz als Voraussetzung störfreier, sicherer Übertragung bei *vorgegebenen* Kanaleigenschaften durch das Mittel der geeigneten Kodierung hatte bei ihm noch keine Platz. Shannons – durch die Kryptografie entscheidend inspirierte Erkenntnis – war gerade, in den Begriff der »quantity of information« auch deren Qualität (wie *sicher* war die Übertragung) einzuschließen, und damit die Kodierung in das Forschungsprogramm einer Kommunikationstheorie einzuordnen.

Nur für eine sehr kurze Zeit und in lediglich zwei weitere Veröffentlichungen – in D.G. Fink's Editorial »Hartley« (1947) und in Stanford Goldmans Aufsatz »Some Fundamental Considerations Concerning Noise Reduction and Range in Radar and Communications« (1948) hatte das Tuller'sche Konzept die marginale Chance, von der Theorie Shannons *unabhängig* seine Möglichkeiten zu zeigen. Insgesamt wurde seine Arbeit 1948 als Dissertation, 1949 *als Publikation erst nach Shannon* bekannt. In beanspruchtem Gültigkeitsbereich, Tradition (Hartley etc.) und der wissenschaftlichen Gemeinschaft, an die sie sich wandte, war diese Arbeit der Shannonschen Theorie zu *ähnlich*, um nicht sofort deren höheren theoretischen Stand, die stringentere Form und die präziseren Aussagen erkennen zu lassen.

Nur die nicht vollständig auf Shannons Theorie reduzierbaren Konzepte (wie die anderen beiden großen Theorien der Kommunikation)[1017] hatten die Chance, noch nach deren Erscheinen, im Gültigkeitsbereich entsprechend adjustiert, separat bis heute weiterzubestehen. Tuller wurde jedoch – weit mehr als Shannon – einer der wichtigen Promotoren der Institutionalisierung der Informationstheorie in den frühen 50'er Jahren.

3.2.1.2 A.G. CLAVIER'S KONZEPT

A.G. Clavier, Autor der 1948 in der wissenschaftlich/technischen Zeitschrift der International Telephone & Telegraph Co. erschienenen Arbeit »Evaluation of Transmission Efficiency According to Hartley's Expression of Information Content« (1947 auf der erwähnten IRE-Konferenz vorgetragen und 1948 in Electronics noch neben der Darstellung des Shannonschen Konzeptes unter »Effect of Modulation on Transmission Efficiency« separat vorgestellt)[1018] hatte als Leiter der Forschungsabteilung der IT&T-eigenen »Federal Telecommunication Laboratories«, New Jersey eine der Position Hartleys in den Bell Laboratories (um 1928) am ehesten vergleichbare Position.

Auch Claviers Ziel war es, das Konzept Hartleys auszudehnen

»to the case of telephony and the presence of noise« (Clavier; 1948:414)

Dies wollte er besonders mit Blick auf die neuen Puls-Übertragungstechniken tun, um deren Effizienz so vergleichen zu können.

Vor diesem Hintergrund leitete er aus Hartleys Konzept für den

---

[1017] die in Fragestellungen und Methoden sich nicht vollständig mit Shannons Theorie deckten.
[1018] in Electronics 21; 1948,1:136

»amount of information transmittible on the ideal line« (1948:415)

die Beziehung

$$H_{lm} = k_{0 \cdot} 2 \cdot f_l \cdot t_l \cdot \log(1 + \frac{s_l}{N_l \cdot 2})$$

ab, mit den Größen Bandbreite (f_l), mittlere Signalamplitude (S_l) mittlere Rauschamplitude (N_l) der Übertragungsstrecke und der Dauer der Übertragung t_l.

Indem er den analogen Ausdruck für die entsprechenden Größen der Nachricht durch den obigen Ausdruck teilte, erhielt er die »transmission efficiency«

$$\eta = \frac{H_m}{H_{lm}}$$

Diese drückte im wesentlichen den Grad aus, zu dem der Übertragungskanal ausschließlich für die Nachrichtenübertragung genutzt wurde bzw. noch Raum enthielt für trennende *Freguenzbänder* oder *Zeitabschnitte* zwischen verschiedenen Frequenz- oder Zeitkanälen. Damit ließen sich bereits verschiedene reale Systeme vergleichen und es ergab sich bereits die relativ höchste Effektivität für die Puls-Code-Modulation.

Der obere der beiden Ausdrücke ist wieder im wesentlichen der bereits von Hartley (1946) und Tuller (1948) abgeleitete für die Kapazität einer gestörten Übertragungsstrecke. Die Häufigkeit von Ausdrücken dieser Form zu jener Zeit zeigt, daß sie unter den Voraussetzungen der Aktualität des Rauschproblems und der Puls-Modulationstechniken relativ leicht aus »Hartley-Law« oder »Zeitgesetz« (wie bei Küpfmüller; 1949) ableitbar waren.

Von Hartley konnte dabei der Begriff der Information, d. h. die Verbindung eines Ausdruckes für die *Kanaleigenschaften* (»rate of transmission of information« oder »Informationsfluß«) mit einem für den *Umfang der Botschaftsguelle* übernommen werden.

Dies wird noch deutlicher, wenn man Arbeiten betrachtet, die in ihren Ansätzen zu Gesamtkonzepten der Kommunikation *nicht* auf Hartley zurückgingen, demzufolge weder den quantifizierten Begriff der Information noch den logarithmischen Ausdruck für die Kanalkapazität kannten und konsequenterweise auch in den Entwicklungsdarstellungen der Informationstheorie nie auftauchen.

3.2.2 C.W. EARP, J. WESTON, K. KÜPFMÜLLER, M. MEINESZ – NICHT-HARTLEY'SCHE KOMMUNIKATIONSKONZEPTE[1019]

Auch ohne das Ausgangskonzept Hartley's war es möglich, gewisse Effizienzmaßstäbe für Übertragungsverfahren abzuleiten – u.a. aus der nachträglichen Idealisierung einer fast optimalen Übertragungstechnik. Die so entstandenen Arbeiten kannten jedoch kein quantitatives Informationsmaß. Ihre Übertragungsmaße waren zumeist nicht additiv, d. h. in exponentieller nicht in logarithmischer Form angegeben.

[1019] Das Konzept von Küpfmüller wurde bereits in II.3.3 diskutiert. Der Ausdruck »Nicht-Hartley'sch« bedeutet hier: in Unkenntnis oder Nicht-Nutzung der Hartley'schen Theorie; nicht aber etwa in bewußter Absetzung von dieser. Die Bezeichnung mag daher nicht die bestmögliche zur Charakterisierung dieser Konzepte sein.
Es gab eine ganze Klasse weiterer, hier nicht näher diskutierter Arbeiten zu dieser Gruppe auf geringerem theoretischem Niveau. So z. B. das Konzept der »Zeichenträger« in der Nachrichtentechnik (Lubberger; 1948) oder des »Elementarimpulses« (Rindfleisch 1948) das eine direkte Wiederaufnahme der Nyquistschen Telegrafentheorie von 1924 darstellte.

3.2.2.1 C.W. EARP'S KONZEPT

Auch der Aufsatz C.W. Earps, »Relationship between Rate of Transmission of Information, Frequency, Bandwidth, and Signal-to-Noise Ratio«, bereits 1946 fertiggestellt,[1020] wurde auf der IRE-Tagung 1947 präsentiert und 1948 in der IT&T-Zeitschrift »Electrical Communication« veröffentlicht. Earp war Mitarbeiter der *britischen* IT&T-Dependance Standard Telephones and Cables. Ziel auch von Earps Arbeit war es,

> »to produce an integrated modern theory of communication« (Earp; 1948/178)

Earps Konzept stützte sich nicht auf Hartley's Arbeit. Die Basis von Earps Konzept war vielmehr die Technik der Puls-Code-Modulation, Es entstand in enger Diskussion mit dem Erfinder dieses Verfahrens, A.H. Reeves (IT&T, Frankreich – später Großbritannien). Es stellt damit das dar, was – fälschlicherweise – oft von der Shannonschen Theorie vermutet wird, nämlich eine Generalisierung der PCM[1021] zu einer Theorie der Kommunikation, die die Möglichkeit der

> »Unification of Telephone and Telegraph Theory« (Earp; 1948/189) bot.

Während im Kontext der Entstehung von Shannon's Theorie die PCM-Technik sich als eine mögliche *Konkretisierung der Theorie* ergeben hatte, entstand hier die Theorie aus einer *Generalisierung und Idealisierung des technischen Verfahrens.*

Nach Earp waren die wichtigsten Schritte, die es bis dato in der Entwicklung der Kommunikationstheorie gegeben hatte, das Konzept der Einseitenbandmodulation von Carson (1922) – mit dem die untere Grenze des Bandbreitenbedarfes für die Übertragung einer Nachricht gegebener Bandbreite festgestellt worden war – und die Demonstration Armstrongs (1936), daß unter gewissen Bedingungen erhöhte Übertragungsqualität durch Nutzung einer *größeren* Bandbreite erzielt werden konnte, als sie die der Nachricht war.[1022]

Erst Armstrongs Experimente hatten gezeigt, daß weit oberhalb der durch das Ideal der Einseitenbandmodulation gegebenen Grenze gewisse qualitativ optimale Übertragungssysteme möglich waren.

Diese Experimente machten, so Earp,

> »a deep impression on the orthodox communication engineer, appearing at first to indicate the necessity for a revision of theory« (Earp; 1948:183).

Die Absicht Earps war es, die Prinzipien von Carson und Armstrong, die zwar »well coordinated in the minds of most communication engineers« (1938:179), aber nicht in einer Theorie zusammengefaßt seien, in ein einheitliches Konzept,

> »without appreciable mathematics« (Earp; 1948:179)

zu integrieren.

Als mögliches neues Ideal der Übertragung betrachtete Earp statt der Einseitenbandmodulation die PCM, die er noch als »step modulation« bezeichnete (»a little known system which may become of major importance« (:180)). Die Einseitenbandmodulation – das alte Ideal – erweise sich dann als Sonderfall dieses *»new and universal ideal system«* (ebd.:180).

[1020] Earp (1948:190)
[1021] H. Zemanek in »Informationstheorie« (1952:377) vermutet, »Die Patente (der PCM) waren zuerst da und aus ihnen hat sich wohl die Theorie entwickelt«
[1022] Earp (1948:178/179)

Einigen Plausibilitätsüberlegungen folgend, leitete er zunächst aus dem Prinzip der Einseitenbandmodulation als der unteren Grenze der Übertragungsbandbreite den Satz ab:

> »The maximum number of units of information per second that can be transmitted in a given bandwidth is equal to twice this bandwidth in cycles per second« (Earp; 1948:189).

Dieser abgewandelten Form des Abtasttheorems – die einer formalisierten Darstellung

$$\frac{H}{t} \leq 2f$$

entsprochen hätte – lag die Vorstellung von »units of information« als den Abtastwerten einer kontinuierlichen Kurve zugrunde, also der Nyquist'schen »Signalelemente«.

Neben diese Zeit-Quantisierung der »information wave« (:190) bei der PCM – der Abtastung – ergaben sich aus der Amplituden-Quantisierung -der Zulassung nur festgelegte Amplitudenwerte – neben den *»units of information«* auch noch *»kinds of units of information«* (:189): die Anzahl der unterschiedlichen zugelassenen Amplitudenstufen, die nicht von der Bandbreite, sondern vom Signal/Rausch-Verhältnis abhingen.

Dieses »step modulation principle« von A.H. Reeves, daß die »final coordination between telegraph and telephone systems« (:190) erlaubt habe, bot so die Basis für den folgenden Satz, den Earp und Reeves bereits 1941 formuliert hatten:

> »The amount of information that can be transmitted, when using a suitable code, depends not only upon the number of units of information per second (defined by bandwidth) but also upon the number of kinds of units, defined by signal-to-noise ratio« (Earp; 1948:193)

Für die

> »maximum number of unambigous values that can be transmitted in ... the number of coding channels that can be used« (ebd. :192)

leitete Earp dann die folgende Beziehung ab, wobei das Bezugssystem stets die Eigenschaften der Einseitenbandmodulation waren

$$\left(\frac{S_{SSB}}{P\sqrt{n}}+1\right)^{n}-1$$

mit n, der Anzahl der Kanäle in Einseitenbandmodulation in der Übertragung und S_{SSB}/(p·Wurzel aus n), dem Verhältnis maximaler Signal- zu maximaler Störamplitude im Fall eines Einseitenband-Kanals. Dies die Signal/Rausch-Grenze für das neue Ideal-System, ausgedrückt in Eigenschaften der Einseitenbandmodulation und für n=1 diese direkt ergebend. Wie Oliver, Pierce und Shannon (1949) gezeigt hatten, kam PCM einem idealen System tatsächlich am nächsten.

Für eine logarithmische Form dieses Ausdrucks gab es ohne den Hintergrund des Hartley'schen Konzeptes mit der Forderung der *Additivität der Übertragungskapazitäten* keinen Grund.[1023]

[1023] Earp betrachtete diese Kapazität ausschließlich zu einem festen Zeitpunkt, in Abhängigkeit von der Bandbreite, die er als Vielfache der Bandbreite der Einseitenbandmodulation ausdrückte.

3.2.2.2 J.WESTON'S KONZEPT

Mit der Arbeit J.D. Westons, »A Note on the Theory of Communication« (1949) existiert gewissermaßen eine mathematisierte Form der die PCM-Technik verallgemeinernden Überlegungen von Earp. In dieser Arbeit machte Weston (Sheffield Universität in Großbritannien) – unter Verweis auf »many enlightening discussions on the theory and practice of communication« (Weston; 1949:453) mit C.W. Earp – den Versuch, eine Basis für eine

»general quantitative theory of communication« (1949:449)

zu entwickeln, wie erwähnt, nicht auf Hartley's Konzept basierend. Darin legt Weston der Kommunikation »unit signals« – als Abschnitte von Zeitfunktionen (wie bei Earp oder Nyquist) – zugrunde und eine Botschaft wird als Summe voneinander unabhängiger Einheitssignale, die jedes für sich auch unabhängig von den anderen wahrgenommen und interpretiert werden können, aufgefaßt (:452).[1024]

Ein solches Einheitssignal habe eine Amplitude,

»according to the meaning that is to be attached to the signal« (Weston; 1949:452)

- eine *»Bedeutung«* des Signals also, entsprechend der Earp'schen Unterscheidung als ein numerischer Amplitudenwert. Klar war auch hier die Begrenztheit der Zahl verschiedener »Bedeutungen«, d. h. Amplitudenwerte, die ein Signal annehmen konnte, durch Störeffekte und Unsicherheiten.

Diese Form des Earp'schen Konzeptes ist nur insofern bemerkenswert, als sie den darauf folgenden Unterschied zwischen *Einheitssignal* als einem elementaren Zeitabschnitt, und seiner *»Bedeutung«*, als einem Amplitudenwert – *unter Verzicht auf den Begriff der Information* deutlich macht.

Kommunikationstheorien, die keine Informationstheorien waren, waren eine – wie sich erwies, marginale – Möglichkeit.

3.2.2.3 M. MEINESZ'S KONZEPT

Eine letzte Arbeit aus dieser Gruppe ist die vollständig unbekannt gebliebene eines niederländischen Autors aus dem Jahr 1949, M. Meinesz's »Telekommunikatie met enkele toepassingen uit de combinatieleer« (etwa: »Nachrichtentechnik rnit einigen Ableitungen aus der Kombinatorik«).

Meinesz bezog sich weder auf Hartley noch auf irgendeinen anderen Theoretiker der Nachrichtentechnik und ging bei seinen Überlegungen zu der Zahl möglicher Signalkombinationen vor allem von Techniken der Signalgebung, wie Wasserstandsmeldern, Fernschaltungen in Elektrizitätsnetzen, wie auch Telex- oder Telefon-Schaltungen aus.

Sein Ziel war es, Angaben über die technisch determinierten Grenzen der Kapazitäten solcher Schaltnetze für die Übertragung von Signalen anzugeben, wie auch – in einem Methodentransfer – elektrotechnischen Ingenieuren den Nutzen kombinatorischen Kalküls vor Augen zu führen.[1025]

Die Beziehung ist daher auch in diesem Aspekt etwa von einer exponentiellen Form der 1946 von Hartley abgeleiteten logarithmischen Beziehung verschieden.
Ebenso betrachtete Meinesz (1949) die Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten zu einem festen Zeitpunkt.

[1024] Einige Hinweise auf die Quantenmechanik, wie auch der Titel lassen die Kenntnis der Gabor'schen Theorie vermuten.
In der wichtigsten britischen nachrichtentechnischen Zeitschrift erschienen, darf man als sicher annehmen, daß sie zumindest Earp dann bekannt war.

[1025] Meinesz (1950:12)

Er leitete dabei eine ganze Reihe von allgemeinen Formeln für die verschiedensten jeweils geltenden Randbedingungen in verschiedenen Typen von Signalgebungsverfahren ab. In diesem Zusammenhang ist nur eine dieser Beziehungen von Interesse.

Signale sah Meinesz als Resultate verschiedener Kombinationen von »stromsoorten en stromstoten« (Meinesz; 1949:121) an und leitete als die

> »totaal aantal mogelijkheiden« (1949:101),

als die Gesamtzahl der Möglichkeiten, mit x verschiedenen »Stromsorten« bei gleichzeitiger Impulsgebung und p maximal möglichen Impulsen pro Stromsorte, die Beziehung

$$(p + 1)^x + 1$$

ab. In nachrichtentechnischer Sprache hieße x die Bandbreite und p wäre durch das Signal/Rauschverhältnis bestimmt. In einer zweiten Arbeit bezeichnete er den obigen Ausdruck als die

> »capaciteit van en signaalsysteem« (1950:15).

Dieser Ausdruck ist im wesentlichen identisch mit dem Earp'schen ebenfalls exponentiellen Ausdruck für die Kapazität eines Übertragungssystems. Meinesz betrachtete wie gesagt jedoch nicht nachrichtentechnische Übertragungssysteme direkt, sondern Relais- und Schaltnetzwerke, weshalb er seine Ergebnisse auch nicht zu nachrichtentechnischen Größen in Beziehung setzte. In den Systemen der Starkstrom- und Signaltechnik, von denen er ausging, waren auch die Begriffe des »Rauschens« oder der »Bandbreite« ohne Bedeutung.

All diese Arbeiten liegen abseits von dem Strom der zur Informationstheorie führende Arbeiten, wenn auch ihre Autoren, wie z. B. Earp, an den späteren Kongressen zur Informationstheorie beteiligt waren. Ihre konzeptionelle Absicht war jedoch auch stets mit mehr oder weniger mathematischen Mitteln und ohne den Bezug auf Hartley's Informationskonzept Grenzen für die Übertragungskapazitäten technischer Systeme – vor allem von telegrafischen Übertragungstechniken – anzugeben.

Der entscheidende Einfluß von Hartley's Arbeit auf die Bildung eines Informationsbegriffes in der Nachrichtentechnol/Elektrotechnik geht gerade aus diesen Arbeiten hervor, die sich nicht auf Hartley beriefen. Ebenso geht aus diesen Arbeiten hervor, daß die Entwicklung von Ausdrücken für den Leistungsvergleich und die Leistungsabschätzung verschiedener Übertragungssysteme auch unabhängig von Hartley's Vorgabe aus dem Stand und der Analyse der technischen Systeme geleistet werden konnte – wenn auch im Vergleich zu Shannon in weit bescheidenerem Maße.

3.3 NORBERT WIENER: STATISTISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE UND KYBERNETIK

VORBEMERKUNG

Heute unterscheidet man innerhalb der Nachrichtentechnik drei Bestandteile einer etwas weiter gefaßten Vorstellung von »Informationstheorie« darin.[1026]

[1026] Folgend der deutlichsten derartigen Unterscheidung bei MacMillan, Slepian (1962:1153)

1. »Detection Theory and Signal Extraction« – die prinzipiell die Frage untersucht, ob ein empfangenes Signal allein aus Rauschen besteht oder eine durch Rauschen überlagerte Botschaft darstellt.

2. »Filtering and Prediction Theory« – die sich mit der Frage befaßt, wie man eine empfangene Signalfunktion, von der man *weiß*, daß sie Nachricht und Störung enthält, so transformieren kann, daß man die Nachricht in optimaler Qualität – bei unterschiedlichen Qualitätskriterien – erhält. Theoretisch kann man diese Theorie als Sonderfall von 1 auffassen.

3. »Information Theory – Strict Sense« – die sich mit der Einrichtung von Sender und Empfänger für optimale Kommunikation bei Störungen befaßt.

Über den Zusammenhang der zwei ersten Theorien stellen McMillan und Slepian fest:

> »There is a considerable overlap between these theories. Their classification as two separate subjects, rather than as special cases of a larger theory, is now firmly entranched, but appears to be for historical rather than logical reasons.« (McMillan, Slepian; 1962:1153)

»Historisch« muß hier allerdings auch heißen, »in speziellen Anwendungssituationen entstanden«, nämlich der meßtechnischen Situation – wie beim Radar (1), und der Vorhersage-Situation, wie in der Feuerleitungstechnik (2). Solange diese speziellen Fragestellungen in speziellen technischen Anwendungssituationen genügend großen Forschungsumfanges weiterhin und z.T. unabhängig voneinander existieren, werden auch die Entwicklungen beider Theorien voneinander unabhängigen Wegen folgen, d. h. separat voneinander existieren ungeachtet ihrer logischen Zuordnung. Insofern ist der Grund der Separierung, wie auch der Entstehung mehr als »nur« historisch, sondern eher eine Folge des separaten Weiterbestehens verschiedener technischer Anwendungssituationen. In Komplex dieser Theorien spielte – besonders für 2 – Norbert Wiener's Arbeit eine wesentliche Rolle.

Lediglich die dritte, Shannonsche, Theorie baut jedoch notwendigerweise auf den Informationsmaßen der Nachricht (Entropie) und der Übertragungstechnik (Kanalkapazität) auf. Ihre Grundsituation der Analyse von Sender und Empfänger ist von der der beiden anderen Theorien verschieden.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik, was neben dem 3. Punkt dieser Aufteilung auch diejenigen Konzepte beinhaltet, die heute in den USA als Teile des weiter gefaßten »europäischen« Begriffes der Informationstheorie angesehen werden,[1027] wie z. B. das bereits erwähnte Gabor'sche Konzept oder die Theorie MacKay's (1950)[1028]

3.3.1 VORHERSAGETHEORIE UND KYBERNETIK

Wiener's Vorhersage- und Filtertheorie stellte eine direkte Anwendung seiner früheren mathematischen Arbeiten dar. Sie enthielt kein Informationsmaß und bedurfte seiner auch nicht.

Die »Kybernetik« enthielt Informationsbegriff und Kanalkapazität, nutzte sie jedoch lediglich als heuristische Konzepte.

Die besondere Bedeutung der Wiener'schen Filtertheorie liegt in der Einführung statistischer Methoden in die Nachrichtentheorie.

[1027] MacMillan, Slepian (1962:1151)

[1028] auf diese Theorie, die einzige, die eine Integration des Gabor'schen und des Shannon'schen lnformationsbegriffes darstellte, kann in dieser Arbeit nicht mehr eingegangen werden.

Insgesamt waren es in den USA in den 40'er Jahren 3 Arbeiten, über die statistische Methoden und Modelle in die Nachrichtentechnik und ihre Theorie integriert wurden:[1029]

Norbert Wieners »Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series« (1942), Stephen 0. Rice's »Mathematical Theory of Random Noise« (1944/45) und Claude Shannon's »Mathematical Theory of Communication« (1948) – die beiden letzten Bell-Autoren. Die Problembereiche, aus denen die statistische Betrachtungsweise jeweils herrührte, waren

- statistische Mechanik (Wiener)

- die Struktur von Betriebsstörungen im Telefonnetz (Rice)

- Kryptologie und Sprachstatistik (Shannon)[1030]

Wieners besondere Leistung bestand darin, als erster konsequent und vollständig den in der Funktionsanalysis – z.T. von ihm selbst – entwickelten mathematischen Apparat der Korrelationsanalyse und der verallgemeinerten harmorischen Analyse zunächst für das Problem der Datenvorhersage und -glättung in der Feuerleitung und dann für die Filtertheorie der Nachrichtentechnik fruchtbar gemacht zu haben.
Als erster faßte er Rauschen und Signal als Zeitreihen zufälliger bzw. korrelierter Ereignisse auf.

In seinem NDRC-Report, der 1942 erstmals erschien und 1949 veröffentlicht wurde (im Folgenden als »TMS« abgekürzt) stellte sich Wiener das Ziel:[1031]

> »to unite the theory and practice of two fields of work which are of vital importance in the present emergency, and which have a complete natural *methodological unity*, but which have up to the present drawn their inspiration from two entirely distinct traditions, and which are widely different in their vocabulary and the training of their personnel. These two fields are those of time series in statistics and of communication engineering.« (Wiener; 1949a:1)

Dabei ging er vor allem von der Methode der Fourier-Integrale aus, seinem langjährigen Lehrgebiet am MIT,[1032] die bereits in Wahrscheinlichkeitstheorie *und* Nachrichtentechnik Anwendung gefunden hatte, wenn auch nicht »with a full awareness of their power« (ebd. :9). Die mögliche Anwendungsbreite dieser Methode ging weit über die Nachrichtentechnik noch hinaus, bzw., so Wiener, die Nachrichtentechnik habe einen Gültigkeitsbereich der weit über das hinausreiche, was man ihr üblicherweise zurechne.[1033]

Grundvoraussetzung seiner Methode war die Ergodizitäts-Annahme, d. h. die Annahme einheitlicher statistischer Struktur der untersuchten Zeitreihe (»stationär« in der Zeit). Die Methode der Autokorrelationsanalyse erlaubte dann, in einer empfangenen Zeitreihe ein Signal, d. h. eine Nachricht zu erkennen (meßtechnischer Fall), bzw. nach deren Erkennen die nächsten Elemente der Zeitreihe vorherzusagen (Vorhersagetheorie).[1034] Auf der Basis dieser Methode war es möglich, mathematische Angaben über entsprechende bei vorgegebenen Qualitätskriterien abzuleiten.

Obwohl Wiener in dieser Arbeit feststellte, daß das wesentliche an der Nachrichtenübertragung die Auswahl übertragener aus der Gesamtzahl möglicher Nachrichten sei:

[1029] Dies stellt z.B. Root (1966:132) heraus
[1030] und in diesem Fall bereits zusatzlich das an erster Stelle genannte Wiener'sche Konzept.
[1031] Hervorhebung – F.H.
[1032] Vergl. MIT-Catalogues der 20'er und 30,er Jahre
[1033] in Wiener (1949a:2)
[1034] Inhaltlich soll hier dazu nichts weiter gesagt werden. Für den weiteren Fortgang der Informations-Konzepte ist es entbehrlich und reine Darstellungen und Diskussionen derTMS und der Folgearbeiten gibt es genug, wie z. B. in dem Wiener-Sonderband des Bull.Am.Math.Soc., 72; 1966,1, darin besonders von P. Masani, oder die ausführliche inhaltliche Entwicklungsdarstellung der Linearen Fi ltertheorie nach Wiener von Kailath (1973).

»The transmission of a single fixed item of information is of no communicative value. We must have a repertory of possible messages, and over this repertory a measure determining the probability of those messages.« (ebd.2)

war dieses Wienersche Konzept eher eine *Methode der Zeitreihenanalyse* – auch in der Nachrichtentechnik, ebenso aber in einer Vielzahl anderer Bereiche, als eine *Theorie der Nachrichtenübertragung.*

»the unity of this book is methodological« (Wiener;1949:23)

stellte Wiener fest. Filter- und Vorhersagetheorie *veränderten* sich mit dieser neuen Methode grundlegend, wurden aber durch sie nicht *begründet.* Im Unterschied zu der Shannon'schen Theorie stellte die TMS keine völlig neue *Frage*, sondern gab wesentliche neue Mittel zur Beantwortung herkömmlicher Fragen an die Hand. Nachrichtensysteme insgesamt, den Sender einschließend, spielten in ihr keine Rolle. Der Begriff der Nachrichtenmenge oder Information in einer Nachricht oder durch ein technisches System übertragbar, tauchte in ihr nicht auf.

Shannon machte in seiner Theorie bei der Integration seiner – aus der Kryptologie abgeleiteten – statistischen Konzepte und deren nachrichtentechnischen Entsprechungen mehrfach Gebrauch von der Wiener'schen Beschreibungsweise der Signale als statistischer Zeitreihen.[1035]

Erst in »Cybernetics« (1948) entwickelte Wiener selbst den Ausdruck

$f(x) \log_2 f(x) dx$

als ein »vernünftiges« Maß des Informationsgehaltes einer Kurve f(x), wobei er sich auf eine Mitteilung John von Neumanns berief (1971:88). Zu dieser Zeit war Wiener bereits seit ca. 4 Jahren im Rahmen der »teleologischen« und später »kybernetischen« Zirkel, Tagungen und Konferenzen in engem Kontakt mit v. Neumann und W.S.McCulloch gewesen.[1036] Shannon hatte seinerseits 1947 spätestens über seine Theorie zu referieren begonnen. Am MIT hatte W. Tuller das Prinzip seiner Aktualisierung des Hartleyschen Begriffes des Informationsflusses bereits abgeschlossen gehabt.[1037] Prioritäten lassen sich daher schwer angeben. Sicher ist, daß vor Wieners Hintergrund von statistischer Mechanik und Analyse statistischer Zeitreihen in der Nachrichtentechnik die Bildung der Entropie als eines Ausdruckes für die Information nicht sehr fern lag.

Ebenfalls in »Cybernetics« gelangte er zu einem Ausdruck, für den »Informationsfluß einer diskreten Zeitreihe« (1971 :121), der identisch ist mit dem Shannon'schen Ausdruck der Kanalkapazität, auf den Wiener an dieser Stelle auch verwies (ebd. :117).

Irgendeine weitergehende definierte Interpretation oder Bedeutung hatten diese Konzepte in Wieners »Kybernetik« nicht.

Weder diskutierte Wiener weitere Relationen zwischen den Konzepten der Information und der Kanalkapazität, noch integrierte er sie in mehr als verbaler Weise in den weiteren Verlauf der »Kybernetik«. In diesem Zusammenhang ist der Satz zu verstehen, den von Neumann nach erster Lektüre der Shannonschen Theorie gesagt haben soll

»Shannon did what Wiener should have done and did not« (Oliver:1977:1/78O)

[1035] An diesen Stellen bezog sich Shannon auch mehrfach auf Wiener: »Communication Theory is heavily indepted to Wiener for much of its basic philosophy and theory« (Shannon; 1948.20) und »Credit should also be given to Professor N. Wiener, whose elegant solution of the problems of filtering and prediction of stationary ensembles has considerably influenced the writer's thinking in this field.« (ebd.: 28)

[1036] Man vergleiche Wiener (1971) und Wiener (Autobiografie) zu der Geschichte dieser Zirkel, die in 1944/45 begann

[1037] In Tuller (1949:468) sagt er, daß »the basic work« für sein Papier bereits 1946 abgeschlossen war.

War TMS die Anwendung der Methoden der verallgemeinerten harmonischen Analysis und der Statistik auf die Problembereiche des Filterns und der Vorhersage, so war Kybernetik die – heuristische – Ausweitung auf weitere Bereiche unter Übernahme einer Reihe der in den jeweiligen Gebieten unabhängig davon bereits entwickelten Theorien (in Nachrichtentechnik, Servotechnik, Physiologie und Automatentheorie).

Der Erfolg der TMS war groß, sie hatte einen »great influence on everybody« (Oliver; 1977:1/820) bereits zu der Zeit ihrer noch begrenzten Zirkulation. Wegen ihrer außerordentlich strengen mathematischen Form war sie jedoch für die Leser im allgemeinen und für die Nachrichtentechniker im besonderen außerordentlich schwer zu verstehen.[1038] Es entspann sich dennoch eine Diskussion darum, die bald die wesentlichen Aspekte der neuen Sichtweise und die Möglichkeiten der neuen Methode herausschälte.[1039] Und es erschienen eine Reihe von vereinfachten »Übersetzungen« der Wienerschen Theorie, so unter anderem von Blachman, Bode und Shannon.[1040]

In der folgenden Äußerung eines Wiener-Biografen zeigt sich, welche Bedeutung gerade diesen »Übersetzungen« und deren institutionellem Hintergrund[1041] bei der Verbreitung der TMS zukam:

> »As in previous cases where Wiener started from a physical problem, his exposition was not directed to the engineer but rather to the pure mathematician.
>
> In earlier cases this had delayed the practical utilization of his discoveries, but there were trained mathematicians in the war laboratories who were able to adapt his ideas to the needs of applications.« (Levinson; 1966:27)

Unter Y.W. Lee und mit dessen Arbeiten trat die statistische Filtertheorie als »Statistical Theory of Communication« in den 50’er Jahren am MIT in eine gewisse Konkurrenzposition zur Shannonschen Informationstheorie.[1042]

3.4 CLAUDE SHANNON: MATHEMATISCHE KOMMUNIKATIONSTHEORIE

VORBEMERKUNG

In der Wirkung und ihrer inneren formalen Eleganz war die Kommunikationstheorie, die Claude Shannon 1948/49 in einer Serie von Veröffentlichungen vorstellte, mit keiner der anderen Kommunikationstheorien, die bislang vorgestellt wurden, vergleichbar. Diese Veröffentlichungen waren »A Mathematical Theory of Communication« (1948) (MTC) »Communication in the Presence of Noise« (1949) (CPN); »Communication Theory of Secrecy Systems« (1949) (CTS) und – zusammen mit B. Oliver und J. Pierce – »Philosophy of PCM« (1949) (PPCM).

Die an anderer Stelle diskutierten Bedingungen der Forschungsorganisation und der technischen Entwicklung sind für die Entstehung dieser Theorie, der Informationstheorie, *notwendige*, allein die individuellen Fähigkeiten Shannons jedoch bestimmten die auch *hinreichenden* Bedingungen.

[1038] Daher der Name »yellow peril« für die TMS

[1039] So z.B. in den der TMS-ausgabe 1949 als Anhänge beigegebenen Aufsätze von Norman Levinson (Wiener; 1949a:129-148, 149-160)

[1040] So z.B. in den der TMS-ausgabe 1949 als Anhänge beigegebenen Aufsätze von Norman Levinson (Wiener; 1949a:129-148, 149-160)

[1041] In der mathematischen Kriegsforschung (AMP), wie in der Gruppe für mathematische Forschung in den BTL, als einziger derartiger Gruppe in der Nachrichtentechnik. Siehe oben, III.1.2.2.1 und III.1.4

[1042] Innerhalb des Research Laboratory of Electronics am MIT, das aus dessen Radiation Laboratory hervorgegangen war.

Diese werden für Claude Shannon (und z.T. für Norbert Wiener) im Anhang V diskutiert, wo einige charakteristische Eigenschaften von Shannons Forscherpersönlichkeit und dessen wissenschaftliche Biographie etwas ausführlicher dargestellt werden. Die Resultate seien hier vorweggenommen:

Sowohl Shannon als auch Wiener wurden in außerordentlichem Maße für die Inangriffnahme von Forschungsprojekten von intern bestimmten Motiven geleitet – eine Eigenschaft, wie sie für »high performers« in der Forschung als typisch nachgewiesen wurde.[1043]

Diese Eigenschaft war damit verbunden, daß beide Autoren in hohem Maße in der Lage waren, Lösungsmethoden von einem Problembereich in einen völlig anderen zu übertragen – tatsächlich waren es gerade diese Methoden, die zumeist die Richtschnur für den *Übergang* in andere Problembereiche bildeten.

Diese Eigenschaft – zusammen mit der Fähigkeit zur Integration der methodischen Konzepte in einen neuen Bereich – ist im wesentlichen für die interdisziplinäre Wirkung der Arbeiten dieser Autoren die persönliche Voraussetzung. Shannons besondere »interdisziplinäre Potenz« wurde daher bereits 1939 erkannt.

Als mathematische Serviceabteilungen entstandene Arbeitsbereiche wie mathematische Forschung in den Bell Laboratories oder die mathematische Fakultät des MIT[1044] mußten für solche Forscher ideale Arbeitsbedingungen darstellen. Lediglich unter Forschungsbedingungen, wie sie in Organisationen des Typs der Mathematischen Forschung der BTL existierten, konnten derart stark *intern motivierte* und *theoretisch orientierte* Wissenschaftler wie Shannon in die *Industrieforschung* überhaupt integriert werden.

Es ist weniger verwunderlich, daß es auch dort gelegentlich zu Beschwerden wegen dieser Eigenschaften kam, als vielmehr, daß sie keine nennenswerten Folgen hatte.

Unter diesen Bedingungen kam der individuellen wissenschaftlichen Biographie eines Autors wie Shannon *weit mehr Bedeutung zu*, als sie etwa in mehr extern bestimmten technischen Forschungsbereichen der Industrie der wissenschaftlichen Biographie eines anderen Autors zuzubilligen wäre (für den Zweck dieser Untersuchung).

Aus diesem Grund muß die Informationstheorie nicht nur vor dem Hintergrund einer Theorienreihe Nyquist-Hartley-Shannon in der Nachrichtentechnik und vor dem Hintergrund der Forschungsorganisation der BTL analysiert werden, sondern auch vor dem Hintergrund der *zuvor* oder *zugleich* von Shannon bearbeiteten Gebiete.

3.4.1 ERSTE ÜBERLEGUNGEN ZU EINER KOMMUNIKATIONSTHEORIE

Bereits seit 1939 befaßte sich Shannon mit dem Versuch der Entwicklung einer allgemeinen Kommunikationstheorie, aufbauend u.a. auf Hartley's Konzept (1928).

Die ersten auffindbaren Überlegungen Shannons zu einer Kommunikationstheorie stammen vom Februar 1939.[1045] Darin stellte er die »general systems for the transmission of intelligence« (Shannon; 16.2.1939) als Transformationen von Zeitfunktionen ineinander dar. Der entsprechende Abschnitt dieses Shannon-Briefes ist im Anhang VI wiedergegeben.

[1043] Pelz, Andrews (1966:104) , dort wurden die »strong inner sources of Motivation«, wie die Motivierung durch »own ideas« oder »previous work« für die effektiveren Wissenschaftler in umfangreichen Untersuchungen aufgezeigt.
[1044] in Wiener (Autobiografie:34)
[1045] In einem Brief an Vannevar Bush; 16.2.1939

Bush Papers, L.O.C., 102:2401

Diese ersten Gedanken sind – neben der Tatsache, daß sie die lange Beschäftigung Shannons mit einer grundlegenden Theorie der Kommunikation erstmals gültig belegen – insofern von Interesse, als sie zeigen, daß

a) Shannon zu dieser Zeit dem allgemeinen Vorkriegsverständnis und dem Stand der Technik entsprechend Nachrichten als kontinuierliche Zeit-(bzw. Frequenzfunktionen) darstellte. Die spätere, im wesentlichen für die diskrete Nachrichtenübertragung gültige Theorie entstand damit nicht auf die lineare Weise, wie etwa Wiener dies vermutete, als

> »eine unmittelbare Weiterentwicklung seiner früheren Arbeit über die Verwendung der algebraischen Logik bei Schaltproblemen Shannon liebt, ... , das Diskontinuum und scheut das Kontinuum.« (Wiener; Autob.: 220)

Sie war zu einem großen Teil vielmehr Resultat der technischen Trends in Richtung auf die Telegrafie in der PCM-Technik und der Kryptografie. Dies wird z. B. dadurch unterstrichen, daß der von Shannon 1939 als »fundamental theorem on the subject« bezeichnete Satz (nur unendliche Bandbreite erlaube die absolut identische Übertragung der Nachrichtenfunktion) 1948 – unter dem Dach der statistischen Nachrichtenkonzeptes – im letzten Abschnitt der MTC (»The rate for a continous source') entsprechend wieder auftaucht:

> »to transmit the output of a continous source with exact recovery at the receiving point requires, in general, a channel of infinite capacity.« (1948:26)

Ebenso tauchte das 1939 von Shannon angegebene Qualitätskriterium der gewichteten mittleren quadratischen Abweichung zwischen gesendeter und empfangener Funktion 1948 in dem Abschnitt über kontinuierliche Quellen als eines von »simple examples« (1948:26) einer verallgemeinerten, als Funktion von Verbundwahrscheinlichkeiten zwischen gesendeten und empfangenen Symbolen definierten Qualitätsfunktion auf.

b) Seine Vorstellungen um 1939 – soweit sie in diesem Papier enthalten sind – betrafen ausschließlich den Zeit/Bandbreitenaspekt des Hartley'schen Konzeptes, auf das er sich ausdrücklich bereits bezog.

Mit den Problemen der Codierung war Shannon bereits 1938 am Rande im Zusammenhang mit dem »Rapid Selector« Projekt am MIT[1046] in Berührung gekommen. 1940 brachte ihn seine »Schaltalgebra«[1047] zu einer ersten Phase an die BTL in die Gruppe für Mathematische Forschung unter Thornton Fry. Dort kam er wiederum mit Problemen der Codierung und Schaltung im Zusammenhang mit der Entwicklung des elektrischen Digital (Relais-)Rechners von Georg Stibitz aus derselben Gruppe. Entwurf von Schaltnetzwerken zur Abwicklung logischer Operationen und Codierung der Schaltimpulse zur Erkennung von fehlerhaften Impulsen waren Gebiete, mit denen er dort in Berührung kam. Bereits zu dieser Zeit hatte er die Absicht ausgedrückt, an einer Weiterentwicklung der Hartley'schen Theorie zu arbeiten – was zunächst auf geringe Gegenliebe stieß.[1048]

Im Herbst desselben Jahres trat er die bereits seit Ende 1939 betriebene »National Research Fellowship« am Institute for Advanced Study in Princeton an. Obwohl er zunächst die theoretische Genetik (Algebra) als sein Forschungsgebiet angegeben hatte,[1049] arbeitete er die 4 Monate dort vor allem an der Kommunikationstheorie.[1050]

[1046] Anhang V
[1047] Die Beschreibung von Schaltnetzwerken mit Hilfe der zweiwertigen Logik (Boole'sche Algebra).
[1048] Eine im Licht des vorigen Absatzes, der die frühe Beschäftigung Shannon's mit dem Hartley'schen Konzept belegt, wohl korrekte Erinnerung W.R. Bennet's (1977:1/555)
[1049] Shannon (8.3.1940) an Vannevar Bush, Bush Papers, LOC, 102:2401
[1050] Shannon (1977:1/410) im Interview

Diesen Gegenstand behielt er von da an weiter im Auge, auch während der ersten Phase seiner Kriegsforschungstätigkeit noch außerhalb der BTL. So berichtete er am 4.6.1941 von der Arbeit, die er im Gebiet einer »general theory of transmission and transformation of information« weiter geleistet habe.[1051] Explizite Darstellungen aus dieser Zeit sind nicht bekannt.

Man kann insgesamt wohl mit einigem Recht davon ausgehen, daß alle Problembereiche und Lösungsmethoden, mit denen Shannon spätestens ab 1939 in Berührung kam, von ihm bereits mehr oder weniger bewußt auf die Benutzbarkeit für eine allgemeine Kommunikationstheorie bezogen wurden.

Den größten Einfluß dürften hier 3 Gebiete gehabt haben, mit denen er in der Zeit zwischen 1941 und 1944 in den Bell Telephone Laboratories in Berührung gekommen war: Datenglättung- und Vorhersagetheorie, Kryptologie und Nachrichtentechnik (in Schaltnetzen und den digitalen Übertragungstechniken, die die Verschlüsselungstechniken dominierten).

3.4.2 GRUNDKONZEPTE DER SHANNONSCHEN INFORMATIONSTHEORIE

Mehr als die Konzepte jeder anderen einzelnen Theorie prägten die der Shannonschen Informationstheorie das Verständnis des Prozesses der Kommunikation und seiner prinzipiellen Grenzen.

Die grundlegenden Konzepte dieser Theorie sind[1052]

- die *Entropie* als Maß des Informationsgehaltes einer Symbolfolge aus einer Quelle mit bekannten a priori Wahrscheinlichkeiten (relativen Häufigkeiten)

$$H = -k\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i$$

- die *Redundanz* als Maß des inneren statistischen Zusammenhanges einer

solchen Quelle

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}}$$

dabei ist H_{max} die Entropie der Nachricht bei Gleichwahrscheinlichkeit aller Symbole, $p_1=p_2=p_3 = ... = p_n=1/n$. In dem Fall, wenn alle Symbole gleichwahrscheinlich sind, ist die Redundanz = 0.

- die *Äquivokation* als Maß des Entropieverlustes bei Übertragung, d. h. der Unsicherheit über den Wert eines gesendeten Symbols x, bei dem Empfang eines Symbols y:

$$H_y(x) = -\sum_{i,j} p(i,j) \cdot \log p_i(j)$$

wenn i bzw. j die Werte sind, die y bzw. x annehmen können

- die *Kanalkapazität* als Maß der Leistungsfähigkeit eines Übertragungskanals Information zu übertragen, d. h. Unsicherheit zu reduzieren

---

[1051] in einem Brief an Dean Eisenhart, Princeton Univ. in NAA S4

[1052] Die Shannon'sche Theorie dient heute als allgemeines Grundmodell der Kommunikation'als Hintergrund für die Beurteilung aller anderen Konzepte. Sie selbst vorzustellen im Detail wäre weder neu noch notwendig.

$C = Max(H(x) – H_y(x))$,

als maximale Größe des Informationsausflusses für alle möglichen Werte von x und y.

Daraus konnte Shannon das *Fundamentaltheorem* ableiten, daß ein Codierungsverfahren existiere, welches ermöglicht, über einen gestörten Kanal (d. h. mit einer Äquivokation > 0) Informationen mit beliebig geringer Fehlerrate zu übertragen, solange nur der Informationsfluß der Quelle geringer oder gleich sei als die Kanalkapazität.

Dieser Satz war für die Nachrichtentechnik nicht nur völlig überraschend - die Tatsache, daß ein *gestörter* Kanal zu beliebig *sicherer* Informationsübertragung mit dem Mittel der Codierung gebracht werden konnte – sondern enthielt auch ein wichtiges Programm für die weiteren Forschungen im Rahmen dieser Theorie: Wie sahen solche idealen Codes aus? Was konnte man über sie allgemein sagen? Wie konnte man sie konstruieren? Wie hing ihre Länge von ihrer Leistung ab? etc.

Schließlich spezifizierte Shannon die für den Fall der diskreten Übertragung erhaltenen Sätze auf den Fall der Übertragung kontinuierlicher Signale und erhielt für den Fall eines Kanals mit oberer Grenze für die Leistung einzelner Impulse und Störungen der Form weißen gauß'schen Rauschens die Beziehung

$C = W \log (1 + S/N)$

wobei S die Signal-, N die Rauschleistung und W die Bandbreite darstellten.[1053]

Damit leitete er erstmalig die tatsächliche obere Grenze für die Fähigkeit eines gestörten technischen Systems ab, Informationen zu übertragen.

Ebenso wichtig jedoch wie diese genaueste Präzisierung des Hartley-Law und die gegenüber allen anderen Autoren klarere, vertiefte und verallgemeinerte Definition von Information bzgl. der Nachrichtenquelle *(Entropie)* und bzgl. des Übertragungsvorganges *(Kanalkapazität),wie* die Ableitung einiger wichtiger und vor allem eines entscheidenden neuen Theorems war auch, daß er zugleich damit verschiedene Methoden für die theoretische Nachrichtentechnik fruchtbar machte:

a) die statistische Analyse von Nachrichtenquelle und Kanal konzentriert in Teilen 1,2 der MTC

b) die statistische Beschreibung von Signal und Störung konzentriert in Teilen 3 – 5, MTC

c) die Darstellung der Übertragung als einer Abbildung hoch dimensionaler abstrakter Räume ineinander konzentriert in CPN.

Davon ist a) eine Übernahme und Verallgemeinerung von Analyseverfahren der Kryptografie in die Nachrichtentechnik, b) eine Nutzung der von Wiener über die Feuerleitung in die Nachrichtentechnik eingeführten statistischen Darstellungsweise und c) eine Methode, die Shannon bereits z.T. in seiner Theorie der Kryptografie und der genetischen Algebra (Populationen als Punkte hochdimensionaler Räume) benutzte und die darüber hinaus in mathematischer Physik oft Verwendung findet, in der Nachrichtentechnik jedoch völlig neu war. Methodisch sind a) und b) nicht sehr verschieden voneinander, hier aber getrennt, weil diese Unterscheidung den verschiedenen Anwendungsbereichen entspricht, aus denen diese Methoden in die Informationstheorie gelangten und die Unterscheidung in der MTC deutlich die ist zwischen diskretem und kontinuierlichem Fall. Zudem ist a) die originär Shannonsche Methode und b) von Wiener beeinflußt.

[1053]Voraussetzung war dabei ein idealer Filter mit fester Bandbegrenzung. Der Wiener'sche (integrale) Ausdruck für die Kanal kapazität enthielt diese Bedingung nicht.

Schließlich stand der Begriff der Redundanz in seiner wohldefinierten Form zusammen mit dem Aspekt der Codierung am Beginn einer Vielzahl von Versuchen, durch deren Reduktion in der Nachrichtenquelle an Kanalkapazität zu sparen – z. B. in der TV-Übertragung. Dies war ein Aspekt, der auch Shannon bereits früh motiviert hatte.[1054]

Alle Techniken der Nachrichtenübertragung und der digitalen -verarbeitung schloß Shannon in den Gültigkeitsbereich seiner Theorie ein.

3.4.3 KRYPTOLOGIE UND INFORMATIONSTHEORIE

Die Kryptologie bediente sich bereits vor Shannon der Algebra und Wahrscheinlichkeitstheorie.

Viele Konzepte der Informationstheorie entzündeten sich an den besonderen Fragestellungen der Kryptologie. Zentrale Idee Shannons war die Analogie des nachrichtentechnischen Aspektes der Übertragung mit dem kryptanalytischen.

3.4.3.1 DER STAND DER KRYPTOLOGIE

Im Jahr 1920 erschien eine Arbeit, »The index of coincidence and its Applications in Cryptography«, mit der deren Autor William F. Friedman die Kryptologie aus ihrer bis dato bestehenden »lonely wilderness« (Kahn; 1974:189) führte und für deren Probleme erstmals die Methoden der mathematischen Statistik fruchtbar machte. Friedman war, auf eine skurrile Weise[1055] aus der theoretischen Genetik in das Gebiet der Kryptologie gelangt und seit 1922 Chief Cryptanalyst des Signal Corps der US-Army, wo seine Funktion zu dieser Zeit jedoch noch auf den Bereich der Kryptografie (Verschlüsselung) konzentriert war.[1056] 1929 legte die Army k.ryptografische und kryptanalytische Funktionen in einer Behörde, dem Signal Intelligence Service, zusammen – mit Friedman als Direktor. In dieser Stelle und von dieser Zeit an wurden ausgebildete Mathematiker in der Kryptologie engagiert. Algebraische Methoden zogen um Mitte/Ende der zwanziger Jahre, vor allem mit den Arbeiten Lester S. Hill's in die Kryptologie ein. Stets waren Telegrafie und Kryptografie eng miteinander verwandt. Tatsächlich sind *kommerzielle* und *militärische (geheime)* Telegrafie nur verschiedene Entwicklungsprogramme derselben Technik der Zeichenübertragung in allerdings deutlich verschiedenen Effizienzbereichen.

Wie aus den Veröffentlichungen Hill's [1057]oder der Benutzung kryptografischer Statistiken für die Fragen der Bildung telegrafischer Codes durch Nyquist (1924) ersichtlich, existierten Übertragungen von einzelnen Ergebnissen oder Konzepten aus der Kryptografie in die kommerzielle Telegrafie durchaus vor dem 2. Weltkrieg.

[1054] vgl. II.2.4.5

[1055] Er war als Genetiker in die private Forschungsanstalt eines reichen Textil-Industriellen (George Fabyan) eingetreten, der in dieser eine Entzifferungs-Abteilung unterhielt, in der ca. 15 Akademiker – dessen persönlicher Marotte folgend – am Nachweis der Bacon'schen Herkunft der Shakespeare'schen Texte arbeiteten.
Friedman wurde dort um 1916 »head of the Department of Ciphers as well as Head of the Department of Genetics« (Kahn; 1974:186).
Mit dem Kriegseintritt der USA, 1917, übernahm diese Entzifferungsabteilung des Riverbank-Lab. (so dessen Name) als die einzige derartige Einrichtung höheren fachlichen Niveaus in den USA zunehmend kryptanalytische Aufgaben und Friedman gelangte schließlich in das Signal Corps bzgl. kryptografischer Aufgaben in 1921. (Kahn; 1974:184 ff.) Die oft angesprochene Methodenintegration, hier zwischen Genetik und Krypanalysis, konnte auch über Forschungsorganisationen derart zufälligen Zuschnittes erfolgen. Je weniger einsehbar die Kombination von vornherein,desto größer war wahrscheinlich die methodische Revolution.

[1056] Kahn (1974:191)

[1057] Wie etwa in dessen Arbeiten (1926), (1927) oder (1929)

So gab es auch bereits 1932 eine Veröffentlichung Friedman's, »Notes on Codewords« , in der fehlererkennende und fehlerkorrigierende Codes.[1058] durch Festlegung der Buchstaben-Differenzen zulässiger Codewörter angegeben wurden[1059] und deren Nutzung für die kommerzielle Telegrafie vorgeschlagen wurde. Es besteht kein Zweifel daran, daß der Ursprung der ersten Codierungskonzepte in der Kryptografie lag.

Viel weiter als in den Techniken der kommerziellen Telegrafie war in den Techniken geheimer Telegrafie die Operation mit Fragen der Codierung, der Zeichenhäufigkeiten, der Schlüsselwahl etc., getrieben worden. Codierung war die Basis dieses Gebietes.

Inwieweit tatsächlich Shannon diese Dinge bewußt waren und zu welchem Zeitpunkt, ist unklar.

Der von einigen Informationstheoretikern geäußerten Überzeugung, daß eine Codierungstheorie sich auch ohne die Informationstheorie hätte entwickeln können,[1060] begegnete Pierce (1957:53) mit dem Hinweis, daß die ersten Codierungstheoretiker (Hamming, Golay) stark von der Informationstheorie beeinflußt gewesen seien. Die aktuelle Inventions-Situation fehlerkorrigierender Codes, so erinnerte sich Hendrik Bode, bestand in einer Diskussion zwischen Bode, Shannon und Hamming.

> »Hamming, I think, spoke first, Shannon was about half a second later and I talk pretty slowly and if I had talked faster I would have been there in a second by myself. This was nearly a simultaneous invention.« (Bode; 1977:3/380)

In Kryptografie und auch im praktischen Betrieb der ACAN-Netze waren fehlererkennende und –korrigierende Codes jedoch bereits in Nutzung.[1061]

Wenn es später, um 1941-1944 überhaupt einen Konzepttransfer hinsichtlich des Codierungsproblems zwischen Kryptografie und Nachrichtentechnik gegeben hatte, so konnte er nur in einer Richtung erfolgt sein.

3.4.3.2 DIE ZENTRALE ANALOGIE

Zwei Punkte nannte Shannon, in denen die MTC Hartley's Konzept weiterentwickelte.[1062]

a) die Berücksichtigung der internen *statistischen Struktur der Nachrichtenquelle,* d. h. verschiedener relativer Häufigkeiten der darin enthaltenen Symbole und

b) die Berücksichtigung von *Störungen der Übertragung.* Bei beiden Punkten konnte Shannon von alten Problemstellungen in und Analogien mit der Kryptografie profitieren:

a) Die unterschiedlichen relativen Häufigkeiten von Zeichen in natürlichen Sprachen – die man als bekannt voraussetzen konnte – und aus diesen gebildeten Botschaften war geradezu die *Arbeitsgrundlage* der Entzifferung gegnerischer Kryptogramme. Keiner der anderen Autoren, die eine Aktualisierung des Hartley-Law in Angriff genommen hatten, hatte dabei diese unterschiedlichen relativen Häu-

---

[1058] den Hinweis auf diese Arbeit verdanke ich Dr.E.Gilbert und Prof.D. Slepian (BTL).
[1059] Friedman (1932:395 f.)
[1060] Slepian (1977:3/380)
[1061] Robinson (1947:279)
[1062] Shannon (1948:5). Die Seitenangaben erfolgen hier nach der in Slepian (1974) fotomechanisch wiedergegebenen Fassung der MTC und anderer Arbeiten von ITh.-Autoren, die Seitenzahlen stimmen daher mit der BSTJPaginierung nicht überein, unterscheiden sich jedoch nur um einen festen Betrag (die Seiten als solche sind identisch).

figkeiten der Elemente der Nachrichtenquelle berücksichtigt.[1063] Diesen Aspekt legte die Kryptografie mit Sicherheit näher, als es die bloße Berücksichtigung von Problemen der Nachrichtentechnik tat.

Wichtige Konzepte, die daraus für die Informationstheorie folgten, waren die *Entropie*[1064] und die *Redundanz.*

War in der MTC die Entropie das zentrale Konzept und die Redundanz das dort anscheinend abgeleitete Konzept,[1065] das nur am Rand Erwähnung fand,[1066] so war in der Theorie der Kryptografie (CTS) das Redundanz-Konzept von »central importance« (Shannon; 1949a:657). Gerade auf dem Vorhandensein von Redundanz ruhte die Möglichkeit der Entzifferung gegnerischer Kryptogramme.

b) In einer außerordentlich fruchtbaren Analogie faßte Shannon die Probleme der Entzifferung gegnerischer Kryptogramme und der Rekonstruktion gestörter Signale als in wesentlichen Aspekten identisch auf.

Vom Aspekt der Theoriebildung her[1067] ist diese Analogie einer gestörten technischen Übertragung mit der Entzifferungssituation in der Kryptografie, dem »cryptanalytic viewpoint« (Shannon; 1949a) der entscheidende Angelpunkt. Eine Reihe von für die Nachrichtentechnik völlig neuartigen Konzepten und abgeleiteten Theoremen folgten aus ihr. Diese Analogie ist das Gegenstück zu der Wienerschen Analogie des Empfanges einer gestörten technischen Signalübertragung mit der Analyse einer statistischen Zeitreihe, der meßtechnischen Situation. Im Unterschied zu Wiener gelang Shannon jedoch über den Transfer der Konzepte hinaus die Schaffung einer integrierten Theorie aus dieser Analogie.

Gerade diese besondere Stärke der MTC (und Shannons) macht es schwer, den Weg der verschiedenen Konzepte im einzelnen zurückzuverfolgen. Untrennbar war die Entstehung der Theorien der Kryptografie und der Kommunikation miteinander verknüpft:

> »I worked on both at the same time. I worked on one and got an idea for the other.« (Shannon; 1977:1/720)

Mehrfach vertauschte Shannon im Interesse der Geschlossenheit der Informationstheorie insgesamt den *historischen* Kontext seiner Konzepte mit dem *logischen.*

So sah er die 1949 veröffentlichte »Communication Theory of Secrecy Systems« als eine »interesting application« (1949a:656) der MTC und Entropie oder Äquivokation als Konzepte, »developed for the communication problem« (1949a:659), die in der CTS Anwendung finden könnten.[1068] *Logisch*, wie auch in der Veröffentlichungsfolge hatte die Informationstheorie einen höheren Rang als die Theorie der Kryptografie, *historisch* jedoch kamen viele der kryptografischen »Anwendungen« zuerst.

[1063] Wie etwa Tuller (1948), Clavier (1948) oder Hartley (1946)

[1064] die u.u. direkt aus Methoden der Kryptografie folgte.
B. McMillan, Kollege Shannons in der Mathematischen Forschung der BTL und einer der ersten Informationstheoretiker erinnerte sich:
»He told me once that this (Summe)p;log p; really originated in his interest in cryptography, because such an express ion is used ... to measure goodness of fit« (McMillan; 1977:2/140,200)
Weitere Belege dafür ließen sich nicht finden, Shannon konnte sich daran nicht erinnern.

[1065] das in MTC zunächst nur am Rande in einer Bemerkung über die Konstruierbarkeit von Kreuzworträtseln auftauchte (Shannon; 1948 :11).

[1066] Dafür spielte es in Shannon (1951) eine wesentliche Rolle bei der Analyse von »Prediction and Entropy of printed English«

[1067] Es sollte hervorgehoben werden, daß dieser Aspekt von dem der nachrichtentechnischen Bewertung der ITh. sehr verschieden ist. Dort wird das Fundamentaltheorem Shannons und dessen Entropie-Konzept als der zentrale Punkt der ITh. gewertet und diese vor dem Hintergrund früherer Sätze und Konzepte oder weiterer, die sich als Folgen daraus *in der Nachrichtentechnik* ergeben können, angesehen. Betrachtet man jedoch nicht die Konstruierbarkeit nachrichtentechnischer Systeme, sondern die Entstehung neuer Theorien, muß man diese Analogie in den Mittelpunkt stellen.

[1068] auch Pierce (1957:53) sah die CTS als eine »application of information theory to the problem of cracking codes« an

Kernstück der Theorie der Kryptografie war dabei ein Memorandum, das Shannon 1945 für die Signal Intelligence Agency verfaßt hatte, »A Mathematical Theory of Cryptography«. Im Februar 1947 trug er den ersten Teil dieses Memorandums, »Foundations and Algebraic Structure of Secrecy Systems«, bereits unter dem direkt an Hartley's Arbeit anknüpfenden Titel »Transmission of Information« vor angewandten Mathematikern der Brown Universität vor.[1069]

Ein letztes Indiz schließlich für die dominierende Richtung des Transfers von Konzepten und theoretischen Methoden ist die Tatsache, daß Shannon nach Veröffentlichung von MTC und CTS doppelt überrascht wurde – von der *ungeheuren* Resonanz der MTC in der Nachrichtentechnik und von der relativ *geringen* Resonanz der CTS in der Kryptographie.[1070]

Es lohnt sich daher weit mehr, als es bislang bei der Diskussion der Entwicklung der Informationstheorie geschah,[1071] auf die erwähnte zentrale Analogie mit der Kryptografie einzugehen.

In CTS zeigte Shannon, daß »streng ideale Systeme« verschlüsselter Übertragung – solche, die selbst nach Abfangen beliebig großer Textmengen durch den Gegner diesem keine eindeutige Lösung ermöglichen – die Unabhängigkeit und Gleichwahrscheinlichkeit der verschlüsselten Symbole zur Voraussetzung haben,[1072] d. h. eine Redundanz von R=0 die Konstruktion derartiger Systeme erlaubt.

Die Strategie, die *Redundanz zu reduzieren,* führte demnach[1073] auf die Konstruktion von gegenüber gegnerischer Entzifferung *sicheren* Systemen in der *Kryptografie.* In der *Nachrichtentechnik* dagegen erhielt man sichere Übertragungssysteme bei *Erhöhung der Redundanz.*[1074]*)*

Kryptografische und nachrichtentechnische Anforderungen waren damit genau entgegengesetzt zueinander. Ebenfalls direkt entgegengesetzt dem kryptografischen (Verschlüsselungs-)Standpunkt war auch der kryptanalytische *(Entzifferungs-) Standpunkt* mit seinen Anforderungen: Je höher die Redundanz in der abgefangenen verschlüsselten Botschaft, desto sicherer konnte sie entziffert werden.

Die fundamentale Idee Shannons war nun die Gleichsetzung des *kryptanalytischen* mit dem *nachrichtentechnischen* Effizienzbereich einer gestörten Übertragung:

> »From the point of view of the cryptanalyst, a secrecy system is almost identical with a noisy communication system« (Shannon; 1949a:685)[1075]

Diese Analogie ist der zentrale Punkt des Shannon'schen Kommunikationsmodells[1076]. Aus ihr ergaben sich eine Reihe weiterer Konzepte und – zumindest heuristische – Ansatzpunkte für in der Nachrichtentechnik überraschende Theoreme.

[1069] R. Bown an R.K. Honaman (26.2.1947), BAA Math Res.Vol.G Einheit der Information war bei dieser Version noch die *»alternative«* statt des Tukey'schen *»bit«.* (plO des Memorandums)

[1070] So Shannon im Interview (1977:1/620) »I didn't get much good response to that, as I had expected from the cryptographers«. Im Science Citation Index für 1965-1969 ist die CTS lediglich 3mal, die MTC dagegen 219mal zitiert. Zu berücksichtigen ist allerdings dabei die Geheimhaltung, die die vergleichende Analyse der kryptografischen Fachgemeinschaft erschwert.

[1071] Weder Cherry (1951) noch Pierce (1973) noch irgendeine andere der Arbeiten, die etwas mehr zur Geschichte der ITh. enthalten, geht je inhaltlich näher auf deren Herkunft aus der Kryptologie ein.

[1072] Shannon (1949a:700)

[1073] ebenda: 701

[1074] die entgegengesetzten Anforderungen nachrichtentechnisch und kryptografisch *sicherer* Codestrukturen waren allen Praktikern dieses Gebietes wohlbekannt. Z. B. Rindfleisch (1948:323) weist darauf hin.

[1075] Dieser Satz wurde zwar erst nach der MTC veröffentlicht, aber explizitermaßen war das in (1949a), CTS, enthaltene Material das des bereits 1945 erschienenen Reports. Diese zentrale Analogie entstand daher vor oder mit der MTC!

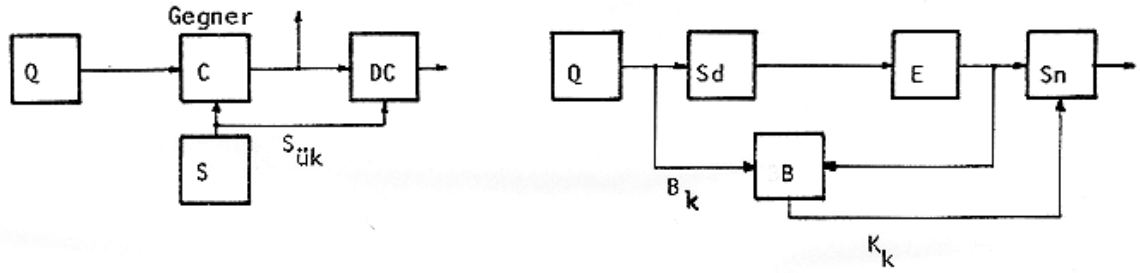
[1076] Was sie im einzelnen für die theoretische Kryptologie bedeutete, kann hier nicht untersucht werden. Generell ist es so gut wie unmöglich, eine detaillierte Geschichte der konzeptionellen Entwicklung in der Kryptologie zu schreiben, da man keinerlei Anhaltspunkte über den relativen Stellenwert veröffentlichten und geheimen Materials hat. Eine Diskussion des Wertes des Shannon'schen CTS-Modells für die Kryptologie findet sich in Kahn (1974:442 ff.), der sie als eine Übernahme nachrichtentechnischer Konzepte in die Kryptologie auffaßt.

So war in der Kryptografie die Äquivokation – im wesentlichen eine Entropie-Formulierung des in der Statistik und Kryptologie lange gebräuchlichen Bayes'schen Theorems über den Zusammenhang verschiedener Wahrscheinlichkeiten[1077] – als ein »theoretical secrecy index« (Shannon; 1949a:685) eines kryptografischen Systems ein ganz zentrales Konzept. Die Reduktion der Äquivokation, der Unsicherheit über den Wert eines gesendeten Zeichens x bei Empfang eines Zeichens y, war das Ziel des Entzifferers (Kryptanalysten),[1078] so die Shannonsche Präzisierung des »generalized problem of cryptanalysis« (ebd. :657). Für die *Nachrichtentechnik* führte Shannon die Rolle eines »Beobachters« des gesamten Kommunikationsprozesses ein,[1079] der gesendetes und empfangenes Symbol vergleichen konnte und der auftretende Fehler über einen Korrekturkanal, dessen Kapazität gerade vom Betrag der Äquivokation sein mußte, dann mit beliebiger Vollständigkeit korrigieren konnte.

Dies war ein für die Nachrichtentechnik genialer Einfall. Die weiter oben geführte Diskussion der Hartley'schen Versuche, die Fehler der Übertragung in seinen Informationsbegriff zu integrieren, zeigte dessen Schwierigkeit dabei. Auch keiner der Nachrichtentechniker, die sich an einer Aktualisierung des Hartley'schen Konzeptes versuchten, hatte die Betrachtungsebene des Kommunikationsprozesses so explizit und vor allem fruchtbar *gewechselt.* Daher spielte auch die Quellen-Codierung bei keinem dieser Autoren eine Rolle – im Gegensatz zu Shannon.

Das kryptografische Analogon zu dieser zweiten Ebene des Kommunikationsprozesses war der auch *technisch völlig separate Prozeß der Schlüsselübermittlung.* Die heuristische Verwandtschaft der beiden Konzepte läßt sich an den von Shannon gewählten schematischen Darstellungen veranschaulichen. (Abb. 8)

ABBILDUNG 8: Schematische Darstellung eines kryptografischen und eines nachrichtentechnischen Korrektursystems unter Einschluß eines externen Beobachters. Nach Shannon (1948:14) und (1949a:662)



Q : Quelle
C : Codierer
DC : Decodierer
S : Schlüssel
$S_{ük}$: Schlüsselübermittlungskanal

Sd : Sender
E : Empfänger
S_n : Nachrichtensender
B : Beobachter
B_k : Beobachtungs-
K_k : Korrekturkanal

Was in der Kryptografie noch eine direkt *technisch separierte zweite Ebene* der Übertragung war, war in dem nachrichtentechnischen Korrektursystem lediglich eine konzeptionell zweite Ebene. Für die Shannon'sche Definition, der Kanalkapazität eines gestörten Kanals, war dieses Modell entscheidend. Die Kapazität eines solchen Kanals definierte er nämlich gerade als die maximale Differenz zwischen

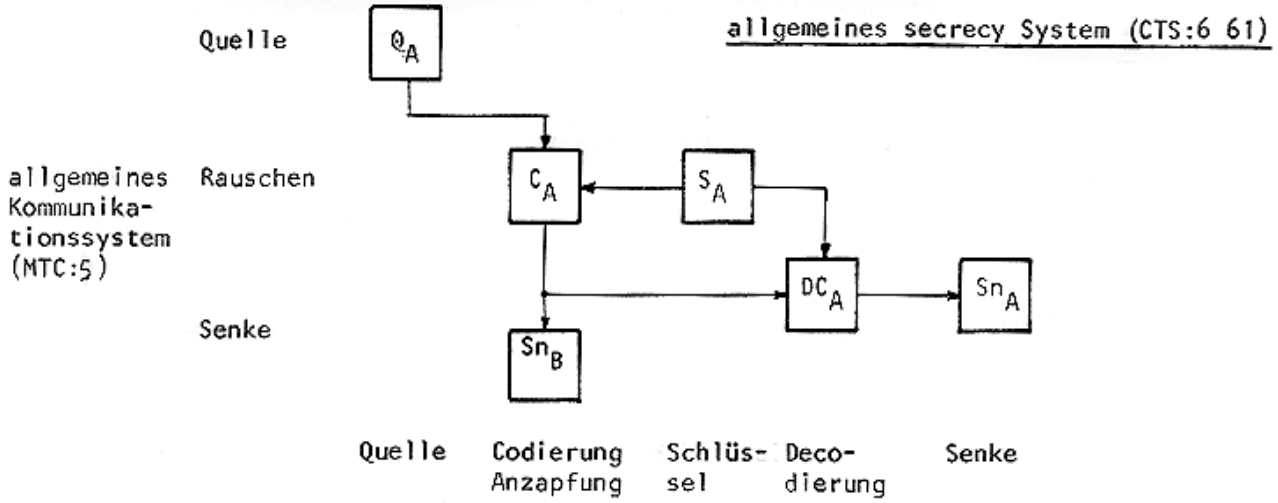
[1077] Die formale Überführbarkeit des Bayes-Theorems in den Shannon'schen Ausdruck für die Übertragungsgeschwindigkeit R = H(x) - Hy(x) zeigt Cherry (1951:391 f.), mit R als der Differenz von Entropie und Äquivokation.
[1078] Shannon (1949a:685 ff.)
[1079] Shannon (1948:13): »an observer ... who can see both what is sent and what is recovered«.

der Menge der abgesendeten Informationen und der Kapazität des notwendigen Korrekturkanals, d. h. der Äquivokation. Und schließlich leitete er daraus das Fundamentaltheorem des gestörten Kanals ab, das aussagte, daß Codes existierten, die die Äquivokation beliebig klein werden ließen, so daß über den gestörten Kanal der Kapazität C eine Informationsmenge von der Größe H = C gerade mit beliebiger Sicherheit übertragen werden könne.

Dies war dann allerdings bereits ein Resultat, das über die kryptografische Analogie hinausging, weil es dort gewissermaßen den Einfluß des Entzifferers auf die Codewahl seines Gegners impliziert hätte. An einer Stelle jedoch hatte die Ableitung des Shannon'schen Kommunikationsmodells aus dem kryptanalytischen Aspekt Implikationen, die erst rund 10 Jahre nach Erscheinen der MTC theoretisch ausgeräumt wurden.

Dazu ist es noch einmal notwendig, ein allgemeines Schema der geheimen Übertragung und ihrer Anzapfung durch den Gegner so darzustellen, daß sich die beiden realen Aspekte der *kryptografischen* und der *kryptanalytischen* Situation deutlich daraus ergeben. Dies ist in dem Schema in Abbildung 9 unternommen. Der (nach links) projizierte, senkrechte Teil des Diagramms ist ein Schema der kryptanalytischen Situation und gleichzeitig das Shannon'sche Schema des allgemeinen Kommunikationssystems; der nach oben projizierte, waagerechte Teil repräsentiert die kryptografische Situation und ist gleichzeitig das Shannon sche Schema eines allgemeinen »secrecy systems«.

ABBILDUNG 9: Allgemeines Schema eines Systems geheimer Übertragung mit gegnerischer Anzapfung, aus dem sichdie Shannon'schen Schemata des allgemeinen Kommunikations- und "secrecy"-Systems als Sonderfälle ergeben



mit A, B den Indizes für die beiden Gegenspieler in geheimer Übertragung
C = Codierer, DC = Decodierer, S = Schlüssel, Sn = Nachrichtensenke, Q = -quelle

Aus diesem Diagramm wird deutlich, daß A und B nicht nur verschiedene *Rollen in dem »Spiel« Kommunikation* haben, nämlich Sender und Empfänger, Nachrichtenquelle und -senke zu sein, sondern darüber hinaus aufgrund der Shannon'schen Analogie die *Rollen von »Gegnern« im »Spiel« geheimer Übertragung* haben, was die Rückmeldung von B über den Erfolg seiner Entzifferung an A prinzipiell ausschließt. Resultat dieser Implikation des ursprünglichen Shannon'schen Modells war es, daß die theoretische Betrachtung optimaler Ein-Weg-Codes zwar zu sehr komplexen theoretischen

Verfahren führte, es in der Praxis aber viel einfacher war – wie in der Telefonie -, Fehler mittels *Rückfragen* zu reduzieren, d. h. mit Hilfe der *»Kooperation«* von Sender und Empfänger. Die alte empirische Methode der Rückfragezählung in der Telefonie benutzte diese Tatsache gerade als ein Mittel der Abschätzung der Übertragungsqualität.[1080]

Erst etwa ab 1956/57 begann man mit der theoretischen Berücksichtigung von »feedback channels« im Rahmen der Informationstheorie.[1081]

Neben der statistischen Methode für die Analyse von Nachricht und Übertragung übernahm Shannon, wie oben gezeigt, eine Reihe von Konzepten aus der Kryptografie, die in nachrichtentechnischem Kontext zu wichtigen neuen Gesichtspunkten und Theoremen, wie auch einigen impliziten Beschränkungen führten.

Eine weitere Methode, die Shannon neu in die Nachrichtentechnik einführte und mit ihrer Hilfe in eleganter Weise nachrichtentechnische Phänomene beschrieb[1082] und die obere Grenze für die Kapazität eines gestörten Kanals ableitete, war die Geometrie mehrdimensionaler abstrakter Räume.[1083]

Ein früher Beleg für seine gleichzeitige Beschäftigung mit Problemen der Nachrichtentechnik und Methoden der Kryptografie ist in diesem Zusammenhang ein Memorandum über »The best detection of pulses« von 1944. In diesem Memorandum, das an seine Kollegen in der Mathematischen Forschung und die an PCM-Systemen arbeitenden BTL-Ingenieure[1084] gerichtet war, stellte er die »beste« Methode der Erkennung eines Impulses als die mit der geringsten Wahrscheinlichkeit falscher Erkennung dar. Das Problem der Zuordnung eines Impulses zu einem von verschiedenen möglicherweise abgesendeten Impulsen stellte er als das Problem der Zuordnung – mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten – dieses Signals zu verschiedenen Unterräumen eines abstrakten Signalraumes dar.

Dies stellte die nachrichtentechnische Version und Anwendung eines Verfahrens dar, das er als eine der »methods of cryptanalysis actually used« (Shannon; 1949a:705) in CTS darstellte, nämlich der sukzessiven Ermittlung des Schlüssels durch die Unterteilung des »key space« (ebd.) in Unterräume.

Ähnlich wie in seiner genetischen Algebra Populationen, stellte er hier die Signale in Tensor-Schreibweise als Punkte in hochdimensionalen Räumen dar. Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten bediente er sich des Bayes'schen Theorems.

Dieses Papier, auf das inhaltlich einzugehen hier nicht nötig ist, ist insofern interessant, als es die frühzeitige Integration der Methoden und Modelle der verschiedenen theoretischen Betätigungsfelder gültig belegt. Damit bestätigen sich die oben aus dem Vergleich der ja in »falscher« Reihenfolge publizierten MTC und CTS gezogenen Schlüsse über den Transfer von Methoden und Konzepten durch Shannon.

[1080] Siehe oben, II.2.3.2.2

[1081] Mit Arbeiten wie
W.B. Bishop, B.L. Buchanan, »Message Redundancy vs. Feeback for Reducing message uncertainty« in IRE Nat.Conv.Rec.; 1957, Pt.2:33 oder
R.L. Dobrushin, »Information Transmission in a Channel with Feedback« in Theor.of Probab. and Applic., 34; 1958:367 (dort sind auch weitere Quellen angegeben)
Rückkoppelung bei der Informationsübertragung erhöht nicht die Kanalkapazität, vereinfacht aber die Codierung!

[1082] Wie die Schwellenwert-Phänomene bei allen Modulationssystemen, welche größere als der Einseitenbandmodulation entsprechende Übertragungsbandbreiten nutzten: ab einem gewissen Schwellenwert für das Signal/Rausch-Verhältnis änderte sich die Übertragungsqualität schlagartig, wurde dieses unterschritten, brach das System sehr schnell zusammen.
Der von Shannon angegebene tiefere Grund dafür war ein Satz über die Abbildung vonmehrdimensionalen Räumen unterschiedlicher Dimensionen ineinander (Shannon; 1949:34 f.)

[1083] »The advantage of this geometrical representation of the signals is that we can use the vocabulary and the results of geometry in the communication problem« (Shannon; 1949:32).
In dieser Analogie war ein Signal der Bandbreite W und der Dauer T ein Punkt in einem 2WT-dimensionalen Raum.
Das Rauschen legte ein Unsicherheits-Gebiet um diesen Punkt im Signalraum.

[1084] H.S. Black, W.M. Goodall

3.5 ZUSAMMENFASSUNG

Für die verschiedenen Teilfunktionen des Prozesses der Kommunikation, die durch die unterschiedlichen Theorien angesprochen werden, kann man etwa das folgende Schema (Tabelle 12) angeben. Dabei sei allerdings darauf hingewiesen, daß identische Funktionen, wie z. B. »Empfang« in den verschiedenen Konzepten durchaus Unterschiedliches bedeuten: den Empfang von codierten Zeichenfolgen (Shannon), den voneinander überlagerten Zeitreihen (Wiener) oder den von Zeit-Frequenzmustern (Gabor).

Tabelle 12: Durch verschiedene theoretische Modelle angesprochene Teilaspekte des Kommunikationsprozesses

Signal / Nachricht

	Sendung	Übertragung	Empfang	Störungen	Informat.beg.
Gabor; 1946*	-	+	+	-	+
Wiener; 1942	-	-	+	+	-
Hartley; 1946*	-	+	-	+	+
Tuller; 1948 Clavier; 1948					
Shannon; 1948*	+	+	+	+	+

Alle mit* gekennzeichneten Autoren bezeichneten ihre Konzepte gelegentlich als »theory of information«: Hartley (1939:3), Gabor (1946:435), Shannon (1949b:20)

Diese Übersicht zeigt die Unterschiede zwischen den Konzepten in den verschiedenen Richtungen. Zunächst fällt auf, daß allein die Theorie Shannons vollständig den Aspekt der *Sendung* von Nachrichten über gestörte Kanäle, d. h. die *Codierung* als eine Handlungsvariable enthält. Allein sie war eine Systemtheorie der Nachrichtenübertragung.

Offenbar waren weder das Hartley'sche Konzept von 1928 noch die nachrichtentechnische Situation während und nach dem Krieg hinreichend, als Ausgangsbasis zu einer derartigen Theorie zu führen. Was waren die Ursachen für diesen Unterschied der Analyseebenen, der ja z. B. in Shannon's Kommunikations-Skizze von 1939 noch nicht angelegt war? Als entscheidend dafür kann man die Herkunft einiger Konzepte der Informationstheorie aus der Kryptologie ansehen.

Von Beginn des Krieges an waren beide kriegsführenden Seiten in beiden Aktivitäten - der *Verschlüsselung eigener und der Entschlüsselung gegnerischer* Botschaften - engagiert. Wer Nachrichten verschlüsselte, mußte dies stets mit Blick auf die Möglichkeiten des Gegners zu deren Entschlüsselung tun. Shannon selbst benutzte den Vergleich mit einer symmetrischen Spielsituation zwischen zwei Gegnern.[1085] Eine der für die Kryptologie grundlegenden neueren Einsichten Shannon's war es gerade, das Abfangen der Botschaft durch den Gegner sowie dessen Kenntnis aller Codierungsverfahren prinzipiell vorauszusetzen.. Damit war die Aufgabe der Kryptografie nicht mehr das *Finden neuer* Verschlüsselungsverfahren, die sicher waren, weil der Gegner (noch!) nicht kannte, sondern die *Kombination bekannter* Verschlüsselungsverfahren um den minimal notwendigen Arbeitsaufwand für die Entschlüsselung durch den Gegner zu maximieren.[1086] Sein gesamter Begriff der »Sicherheit« geheimer Übertragungen geht von dieser symmetrischen Grundsituation aus.

[1085] unter Bezug auf die von Neumann/Morgenstern'sche Spieltheorie (1944)

in (1949a:663)

[1086] Shannon (1949a:704) – ebenfalls unter Bezug auf die Spieltheorie von Neumann und Morgenstern ,5

Seit 1929 waren in den USA bereits die beiden Aspekte, Kryptografie und Kryptanalysis institutionell in der Signal Intelligence Agency integriert, deren Konsultant Shannon 1942-45 war.[1087]

Kurz, Ver- und Entschlüsselung konnten nicht getrennt gedacht werden. Anders war dies im Problembereich der Feuerleitung. Die strategische Situation 1940-41, die der Wiener'schen Theorie zugrunde lag, machte allein die Analyse des *Abwehrp*roblems notwendig, d.h. die Messung und Vorhersage der Positionen der feindlichen Flugzeuge. Das entsprechende inverse Problem dazu, die Ausweichstrategie bei feindlichem Abwehrfeuer, spielte in der Folge der strategischen Entwicklung für die USA - und damit für die Forschung des NDRC - erst später eine Rolle. Es wurde dann in den statistischen Analysen des Applied Mathematics Panel behandelt.[1088]

Die beiden, für die Analyse der gegnerischen, verschlüsselten Nachrichten (Kryptanalysis) bzw. der vom Gegner verursachten und nur gestört meßbaren Positionsfolgen (Feuerleitung) gewissermaßen analogen Konzepte[1089] waren die *Redundanz* als das Maß der inneren Regelmäßigkeit einer statistischen Struktur (Shannon) bzw. die *Autokorrelation* als das Maß der inneren Regelmäßigkeit einer statistischen Zeitreihe (Wiener).[1090]

Allein die Shannon'sche Theorie, der Kryptografie wie auch der Kommunikation, schloß jedoch auch Aussagen über die Folgen der *Variierung* der Redundanz (durch geeignete Codierung) ein: deren Verminderung bedeutete kryptografisch sicherere, deren Vermehrung nachrichtentechnisch sicherere Übertragung.

Bewußte Variierung der Autokorrelation, d. h. im Feuerleitungs-Fall optimale Gestaltung des Flugkurses stand weder 1940/41 – in der strategischen Phase deutscher Luftüberlegenheit – auf dem Programm der US-Kriegsforschung, noch war eine solche etwa derart frei von Restriktionen beim damaligen technischen Stand,[1091] wie die Codierung. Physikalische Gesetze und Flugziel des Angreifers ließen nur bestimmten Spielraum.

Ein Aspekt, der das Gabor'sche Modell von denen aller anderen Autoren trennt, ist bereits mehrfach angesprochen worden, dessen Ignorierung des Rauschproblems – bedingt durch dessen Nichtteilnahme an der Kriegsforschung.

Ebenso unterschied sich das Wiener'sche Modell (in TMS.) von allen (Hartley'schen) anderen Arbeiten darin, daß es kein Maß der Informationsmenge enthielt und nicht zu enthalten brauchte, da es weder Sendung noch Übertragung von Nachrichten untersuchte. Als eine Analysemethode für einen Problembereich benötigte es keinen neuen Begriff, der die verschiedenen Problembereiche eines Gegenstandsbereiches einander vergleichbar machte (wie etwa Sendung, Übertragung, Empfang).

[1087] Shannon (1977:1(620))

[1088] z.B. Studien zum »optimum tactical employment of the B-29 airplane« (W. Weaver; 19.7.1944, AMP-Summary), NAA, 227, OSRD, AMP und andere Studien zu Luftkriegsführung, Bombardierung o.ä. offensiven Aufgaben, die gegnerische Abwehr voraussetzten. Technische Beispiele für diese umgekehrte Fragestellung gegen Ende des Krieges sind:
AMP-Studie 172, »Sight Assessment in Evasive Action« oder Studie 128 »Tactical Application of the B-29« (Numerical Index der AMP-Studien, NAA, 227, OSRD, AMP), die von einer 25-köpfigen Gruppe an der Universität von NeuMexico unternommen wurde und in der die »effectiveness of various B-29 flight formations and procedures« analysiert wurde (W. Weaver; 19.7.1944:47).
Zeitlich waren diese Studien von den ersten fundamentalen FeuerleitungsAnalysen durch die unterschiedlichen Phasen der strategischen Situation, institutionell (und räumlich) durch die Trennung von AMP und Feuerleitungs-Abteilung nach 1942 im NDRC voneinander getrennt.

[1089] Hier ist »analog« im Unterschied zu »homolog« im Sinne der Entwicklung funktinell ähnlicher Konzepte aus unterschiedlichen Wurzeln verwendet (aus der Beschreibung biologischer Entwicklung).

[1090] Peter Elias zeigte den auch formalen Zusammenhang zwischen Entrope und Autokorrelation.
Dargestellt z.B. in E. Philippow (1969,3:60 f.)

[1091] Heute ist auch diese Situation weit symmetrischer, denkt man an die Zufallsvariationen der Startbasen von Raketen oder an Mehrfach-Raketensprengköpfe mit »Dummy« Projektilen so wird die technische Verschmelzung von Codierung und Flugabwehr deutlicher.

Lediglich das Gabor'sche Konzept stellt, Informationsbegriff, Übertragungs- und Empfangsaspekt enthaltend, ein einigermaßen vollständiges, wenn auch vom Shannon'schen verschiedenes Kommunikationsmodell dar. Für die Verschiedenheit beider Modelle spielt die *formale Ineinanderüberführbarkeit* einiger Teilaspekte beider *keinerlei Rolle!*

So wird Gabor's Theorie vor dem Hintergrund der Geschichtsschreibung der Informationstheorie – entsprechend der Gabor-Zitierung durch Shannon in CPN[1092] als eine zwischen Hartley/Nyquist (1928) und Shannon (1948) stehende Analyse des Abtasttheorems mit dessen noch unvollkommener formaler Ableitung angesehen.[1093] Vor diesem Hintergrund der Shannonschen Theorie ist die Gabor'sche Unschärfebeziehung, die das Informationsmaß »Logon« definiert, lediglich ein Sonderfall des Ausdrucks für die Kanalkapazität.

Diese *mögliche* formale Reduktion – es sind prinzipiell beliebig viele derartige formale Überführungen möglich – besagt für die heute separate Existenz einer »structural Information Theory«, die sich auf Gabor beruft, nichts. Diese spricht von der Shannon Theorie als einer »related, but distinct theory« (Barrett; 1973:1092). Im Kontext dieser Theorie, die vor allem im Bereich der Akustik angesiedelt ist, erscheinen viele der nachrichtentechnischen Gründe, die zunächst gegen das Gabor'sche Konzept sprachen, als »outmoded pragmatism« (ebd. :1093).

Lediglich die Kommunikationsmodelle der Nachrichtentechniker, die prinzipiell denselben Gegenstandsbereich und dieselbe Fachgemeinschaft wie die Shannonsche Theorie ansprachen und keine Probleme untersuchten, *die nicht auch* von Shannon untersucht wurden, erlebten keine weitere separate Existenz.

Abschließend sei ein vereinfachendes Schema gegeben, das die Kommunikationsmodelle und Theorien der Information (außen) im Kontext ihrer Entstehung einander gegenüberstellt (Abb.9).

Mit diesem Schema ist dargestellt, daß der Ursprung des Wiener'schen Modells, wie es in der TMS dargelegt wurde, in seiner Verallgemeinerten Harmonischen Analysis, in statistischer Mechanik und dem Radar-Problem liegt; daß der Ursprung des Gabor'schen Modells in Quantenmechanik, Akustik und Sprechübertragung und daß die Shannon'sche Theorie von Algebra, Statistik und digitalen Übertragungstechniken bestimmt wurde. Soweit die »großen« Kommunikationsmodelle. Mit diesen waren Informationstheorien verbunden (Gabor, Shannon) bzw. folgten daraus (Wiener; 1948). Außerdem hatten sich in jedem der drei Gebiete Informationskonzepte allein entwickelt (Fisher[1094], Szilard[1095] und Hartley). Das Schema zeigt damit, daß in den drei Bereichen, dem Gegenstandsbereich (Nachrichtentechnik) und den sich ablösenden Gebieten, die diesen die theoretischen Modelle lieferten (Physik, Mathematik) sämtliche Kombinationen von »reinen« und »gemischten« Informationskonzepten auftauchten.

[1092] Shannon (1949:32)

[1093] So bei Pierce (1973:4) oder auch Tuller /1948:79, (1949:468)

[1094] Fishers Informationsbegriff der Statistik, über die aus Experimentserien zu gewinnende Information ist formal in den Shannonschen (unter einigen Zusatzannahmen) überführbar, z.B. in R,A. Fisher, »The design of Experiments«, Edingburgh; 1935 oder, ders., »Probability Likelihood of Experiments and Quality of Information in the Logic of Uncertain Inference« in Proc. Royal Soc., Sect. A., 146: 1-8

[1095] Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen« in Ztschr.f.Physik 53:1929:840. In dieser Arbeit wies Szilard nach, daß Meßvorgänge, deren Ergebnisse zur Reduktion der Entropie eines Systems um

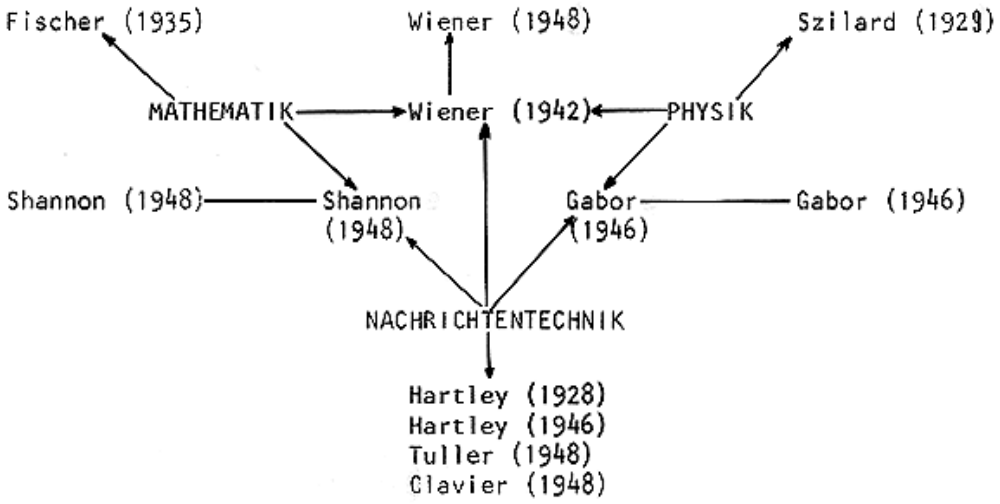
$s = k (w_1 \log w_1 - w_2 \log w_2)$

führen (wenn w_1, w_2 die Wahrscheinlichkeiten für den Aufenthalt eines Moleküls in Teil 1 bzw. 2 eines in zwei Teile geteilten Kastens sind und $w_1 + w_2 = 1$) ihrerseits eine Entropie erzeugen, die mindestens genauso groß ist wie die durch den Meßvorgang gewonnene.

Erstmals wurde hier die prinzipielle Begrenzung des Meßvorganges, als dessen einzige Voraussetzung Szilard lediglich »eine Art Erinnerungsvermögen« (:840), das er thermodynamisch aber präzise modellierte, annahm, aufgezeigt.

Dabei gab es Informationskonzepte, die keine Kommunikationstheorien waren, wie die Fisher's (1935) und Szilard's (1929) in Mathematik und Physik, und es hatten selbstverständlich alle nachrichtentechnisch determinierten Informationskonzepte die Gestalt von Kommunikationstheorien.

Abbildung 9: Herkunftsgebiete der Theorien der Kommunikation (innen) und der Information (außen)



Kommunikationstheorien hingegen, die nicht auf Informationskonzepte hinausliefen, blieben marginale Ansätze.

Lediglich zwei verschiedene Informationstheorien spielen noch heute separate, wenn auch ungleiche Rollen.

IV DIE WEITERE ENTWICKLUNG NACH DEM KRIEG

»Pure research, broadly viewed, could not succeed in being impractical even if it tried« (Warren Weaver; 13.1.1945:2)[1096]

VORBEMERKUNG

Nach dem Ende des Krieges veränderten sich die nachrichtentechnischen F+E-Programme wieder schlagartig in Richtung der kommerziellen Nutzung. Erst der Koreakrieg von 1950 machte dies zum Teil rückgängig. War das Verhältnis der 1947 in den Science Abstracts, Ser.B. zu Radar, Telegrafie, Telefonie und Television verzeichneten Artikel noch 95:13:67:50, so hatte es sich 1951 auf 46:21:172:146 verschoben. Noch 1953 hielten sich Publikationen zu analogen und digitalen Rechenmaschinen die Waage (48:49), während 1956 in der genannten Abstrakt-Zeitschrift 40 Artikel zur analogen, aber 87 zur digitalen Rechentechnik verzeichnet waren.

Ebenso wuchsen die zu »Information Theory« seit 1951 verzeichneten Arbeiten von 8 (1951) auf 24 im Jahr 1956 an.

In der Informationstheorie stand nicht deren direkte technische Anwendung auf dem Programm, sondern *»better understanding«* (Pierce; 1957:53) der technischen Vorgänge war ein bereits hinreichender Wert für ihre weitere Entwicklung. Die in erster Linie mit der Informationstheorie untersuchten theoretisch/technischen Probleme wurden von den Autoren selbst als »of primarily academic interest« (Elias; 1955:37) oder als »not of great practical importance« (Pierce; 1957:53) bezeichnet. Erst Anfang der sechziger Jahre sprach man von den »first serious attempts« (Elias; 1959:149) der Anwendung einiger Ergebnisse der Informationstheorie.[1097]

Dies waren Bedingungen, unter denen sich *zwischen den Weltkriegen* eine separate informelle Forschungsorganisation eines Theorieprogramms in der Technik nicht hätte halten können. Nach dem Krieg waren jedoch die Forschungsbedingungen gänzlich anders geartet. Innerhalb der Industrie hatten sich die Bedingungen verändert und die Hochschulen waren in die technische Forschung eingetreten.

Welche Bedingungen für die Forschung galten und wie sich die informelle FO der Informationstheorie zusammensetzte, soll im Folgenden untersucht werden.

1 STAATLICHE FORSCHUNGSFÖRDERUNG

In direkter Nachfolge der US-Kriegsforschungsorganisation OSRD übernahmen die Streitkräfte in den früher 50’er Jahren den größten Teil staatlicher Forschungsförderung. Forschung an Hochschulen allgemein, wie auch Arbeiten zur Informationstheorie speziell wurden zu etwa der Hälfte über diese Kanäle finanziert.

[1096] NAA 53a
[1097] ebenso auch z.B. Lerner (1962)

Die Forschungsbedingungen waren dabei freier und erlaubten grundlegendere Forschung als in den meisten Fällen industrieller F+E vor dem 2. Weltkrieg.

Bereits Ende 1943 hatte man in den USA 9 verschiedene Konzepte diskutiert, den Streitkräften auch nach dem Krieg Forschungspotential zur Verfügung zu stellen, Pläne für »postwar successors of OSRD« (L. Chalkley an C.L. Wilson; 6.1.21943)[1098] gemacht. Allgemein war man beeindruckt, wie die staatliche Steuerung der Forschung über Kontraktnetze während des Krieges wissenschaftlich/technische Ergebnisse hervorgebracht hatte[1099]– bei einer für die Kriegsbedingungen noch erstaunlichen Aufrechterhaltung der traditionellen Bedingungen wissenschaftlicher Forschung. Dieses System der staatlichen Forschungskontrakte hatte es erstmals vermocht, auch bei Angeboten der Industrie reine Forschung von Entwicklung und Produktion durch konkurrierendes Bieten zu trennen, d. h. optimale Forschungsprogramme wiederum an viele Anbieter geben zu können – für optimale Entwicklungs- und Produktionsprogramme.[1100] Die Fortsetzung dieses Systems erschien unbedingt erforderlich.[1101]

1946 wurde der OSRD aufgelöst.[1102] Es ergaben sich dabei direkte Anschlußprobleme für längerfristig orientierte Projekte, die nicht wie die auf kurzfristige militärische Anwendbarkeit angelegten unmittelbar abgebrochen werden konnten. Derartige Projekte wurden nach dem Krieg unter Förderung durch Army oder Navy, direkt weitergeführt, wie zum Beispiel im Applied Mathematics Panel[1103] oder dem Radiation Laboratory des MIT, aus dessen Grundlagenforschungsabteilung durch diesen Trägheitseffekt das Research Lab. of Electronics hervorging.[1104] Zu dieser Zeit hatten Army und Navy noch »almost unlimited funds available« (Bush; 28.1.1947)[1105], die bereits zuvor bewilligt worden waren und nach Vergabe drängten. Bereits im Mai 1945 war durch den Navy-Minister Forrestal ein »Office of Research and Inventions« der Navy gegründet worden, das im August 1946 in das »Office of Naval Research« umgewandelt wurde.[1106] Dieses sollte bis zur Gründung der National Science Foundation im Mai 1950[1107] die wichtigste Projektförderungs- und Kontraktvergabestelle für die staatlich unterstützte Forschung der USA sein. Es bildete das direkte Vorbild zur NSF, deren erster Direktor der Chief Scientist des ONR wurde.[1108] Größte der 4 Sparten der NSF war die Division of Mathematical, Physical and Engineering Sciences, geleitet von P.E. Klopsteg[1109] (ehemals Chef der Divison »Physics« (17) des NDRC), erster Chairman der NSF wurde der ehemalige NDRC-Chef J.B. Constant.[1110]

Für den hier interessierenden Bereich eine der wichtigsten Vergabequellen von Forschungsmitteln waren das Signal Corps der Army und die Air Force (Directorate of R&D).[1111]

Tabelle 1 zeigt die Rolle der verschiedenen privaten und staatlichen Förderungsinstrumente für die Entwicklung der Informationstheorie am Beispiel der 1956 in den »IRE Transactions of Information Theory« publizierten Arbeiten bzw. der 1956 in den USA auf zwei Informationstheorie-Kongressen vorgetragenen Papiere.

[1098] L. Chalkley an C.L. Wilson; 6.12.1943, NAA 75 in einer Übersicht für den OSRD
[1099] Weaver (13.1.1945:6): »All who know the facts have been impressed. «
[1100] auf diesen sehr wesentlicnen Aspekt wies Capt.Entwistle vom Bureau of Ordnance der Navy in einer Konferenz über Feuerleitungs-F+E 1944 hin (NAA 51:19-21
[1101] Dies betonte z. B. der Präsident des Elektronik-Unternehmens Fairchild Co. J.C. Ward (1945). Ebenso unterstrich dies auch der OSRD-Vorsitzende Bush in einem Brief an Präsident Truman (16.8.1946, NAA 71)
[1102] V. Bush an W. Weaver (28.1.1947), Bush Collection 117:2801 (1941-1947)
[1103] Rees (1945:1 f.) in NAA 4
[1104] siehe III.1.3.2
[1105] Leahy (1948:179 f.)
[1106] Waterman (1952:639)

[1108] Waterman (1952:639)
[1109] Waterman (1952:641)
[1110] Holmstrom (1956:252)
[1111] Holmstrom (1956:259 f.)

TABELLE 1: Förderungsquellen von Publikationen zur Informationstheorie 1956 in den USA

(Q.: IRE Trans. IT-2; 1956, IRE Nat.Conv.Rec 4; 1956,4)

	Zei tschriftenaufsätze	Kongreßvorträge
	Trans.IRE on Inf.The.	IRE National Convent.Inf.Th. und Symposium on Inf.Th.
NSF	1	5
Army	11	14
Air Force	11	15
Navy	10	13
Industrie	3	5
	bei 42 Autoren x Papiere	bei 44 Autoren x Papiere

Es wurde dabei des öfteren *ein* Projekt von *mehreren* Institutionen gefördert. Der Index »Autorenpapiere«[1112] entspricht dem eingangs definierten Größenmaß für Forschungsorganisationen, indem er den Gesamt-Mann x Zeit-Aufwand approximiert, der in einem Forschungskontext der Informationstheorie gewidmet wurde. Vier Artikel eines Autors zählen dabei genausoviel wie ein Artikel von 4 Autoren. In beiden Fällen, so die Annahme, ist die Mann x Zeit (d. h. das Geld) die in die Informationstheorie investiert wird, vergleichbar – sowohl was die Herkunftsinstitutionen als auch den ITh.Diskurs als informelle FO angeht. Deutliches Ergebnis dieser Übersicht ist die Dominanz der direkten NDRC-Nachfolger in der Finanzierung der Forschungsprojekte. Dies gilt besonders jedoch für die Hochschulautoren, da die aus der Industrie stammenden Autoren über gesonderte Finanzquellen keine Angaben machten. Ein Drittel aller Autoren wurde immerhin durch einen oder mehrere militärische Kontrakte gefördert. Soweit die Verteilung der Finanzquellen.

Die Finanzierung der Forschung insgesamt hatte sich nach dem Krieg so verändert gegenüber der Vorkriegszeit, wie dies Tabelle 2 an den F+F-Ausgaben der USA für 1930 und 1953 veranschaulicht.

TABELLE 2: Ausgaben für Forschung und Entwicklung in den USA, 1930 und 1953 (Q. : 0ECD (1968:36 ff.), Mees (1950:16,51 f.), Gross (1957:11))

	Bundesreg.	(davon Dept.o/Defense)	Industrie	Unis/Colleges
1930				
absol.	23	-	116	20
Anteil	14%		69,8%	12%
1953				
absol.	3.100	2.455	2.370	130
Anteil	54,8%	13,5%	42,0%	2,3%

Absolutangaben in Mio.$

Das Verhältnis von Industrie- zu staatlich geförderter Forschung hatte sich von 4/6 zu 1/6 des Gesamt-F+E-Aufwandes der USA in 1930 auf einen annähernden Gleichstand der über das Verteidigungsministerium vergebenen Forschungsgelder zu den in der Industrie aufgewendeten in 1953 gewandelt. Der Anteil des Forschungsaufkommens der Universitäten und Colleges war gegenüber 1930 noch um den Faktor 5 zurückgegangen.

Mit anderen Worten, den Unterschied zu der Situation vor dem Krieg machten gerade die externen Förderungsbeträge für an Hochschulen und in der Industrie *durchgeführte* Forschung und Entwicklung aus. Während 1930 *Quellen* und *Verwender* von Forschungsgeldern ohne ein weitverzweigtes

[1112] statt »Autorenpublikationen« kann man anschaulicher auch von »publizierenden Autoren« sprechen, was mehrere Publikationen eines Autors und eine Publ ikation mehrerer Autoren jeweils mehrfach zählt.

Kontraktsystem noch weitgehend *identisch* waren, hatten sie sich nach dem Krieg beträchtlich *voneinander entfernt.*

Stellt man der Aufteilung der F+E-Aufwendungen von 1930 (14:70:12 für Bund: Industrie: Hochschulen) die *Verwendung* der F+E-Mittel für 1953 gegenüber, so ergibt sich für die F+E-Aktivitäten von staatlichen, industriellen und Hochschullabors ein Prozentverhältnis am Gesamt F+E-Etat von 18:73:9.[1113]

Dieses Ergebnis ist zunächst verblüffend identisch mit dem für 1930 erhaltenen – lediglich die staatlichen und industriellen Labors nahmen in ihrem Anteil etwas zu auf Kosten der Hochschullabors. Paradoxerweise hatte sich die Verteilung der *Forschungsaktivitäten* in den USA 1953 gegenüber 1930 nicht wesentlich geändert. 1957 hatte sich das Verhältnis zu 6:90:3 weiter zugunsten der Industrie verschoben.[1114]

Dies ist weniger überraschend, wenn man sich die Motive der Forschungsförderung während des Krieges vor Augen führt. Ziel der besonderen F+E-Konstruktion der US-Kriegsforschung war es ja gerade gewesen, mit dem Mittel der Kontraktvergabe auf der *vorhandenen Verteilung* der F+E-Kapazitäten aufbauen zu können, ohne, wie etwa in Großbritannien, eigene direkt militärisch oder staatlich betriebene Labors in großer Zahl aufbauen zu müssen. Man darf die Tatsache des großen *staatlichen Finanzierungsanteils* (der der größte in der westlichen Welt war) gerade als *Mittel zur Erhaltung der bestehenden Verteilung der F+E-Kapazitäten* interpretieren. Absolut war natürlich das F+E-Volumen jedes einzelnen Sektors drastisch angestiegen.

1953 waren 39% des F+E-Etats der Industrie und 61% der Hochschulforschung und -entwicklung über Programme der Regierung finanziert. Bedenkt man, daß fast 80% dieser Förderung über das Department of Defense lief, und nimmt diesen Schlüssel einmal als homogen für die gesamte Verteilung an, so kommt man zu dem Ergebnis, daß 31% des industriellen und rund 50% des Hochschul-F+E-Volumens über militärische Kanäle vergeben wurden.

Betrachtet man nun noch einmal die eingangs über die Förderung der Informationstheorie (ITh)Publikationen in 1956 aufgestellten Zahlen und berücksichtigt nun, daß lediglich die Hochschulautoren Angaben über ihre Förderung machten, d. h. bezieht man die Förderungszahlen auf die Zahl der Hochschulautoren, so zeigt sich mit

IRE Trans. on ITh : 28 publizierende Hochschulautoren

ITh-Kongresse 1956 : 21 publizierende Hochschulautoren, daß tatsächlich etwa 50% aller dieser ITh-Autoren über einen oder mehrere militärische Kontrakte gefördert wurden.[1115]

Mit anderen Worten, die ITh-Entwicklung lag in dieser Hinsicht direkt und gerade im Gesamttrend der F+E-Entwicklung in den USA.

[1113] Die von Gross (1957:11) angegebenen Zahlen für *Aufbringung* und *Verwendung* der US-Forschungsgelder in 1953 sind (in Mio.$):

	Verwendung			
Aufbringung	Regierungs-	Industrie-	Hochschul/Coll.-	Sonstige Labors
Regierung	970	1.520	280	50
Industrie	-	2.350	20	-
Coll.u.Hochsch.	-	-	130	-
Sonstige	-	-	30	20

[1114] OECD (1968:267)

[1115] Es tauchten nie mehrfache Förderungen derselben Arbeit durch dieselbe Finanzquelle auf.

An direkter inhaltlicher Abhängigkeit bedeutete der starke militärische Anteil an der Förderung jedoch weit weniger, als es zunächst schien. Viel eher war er ein Index für die Entwicklung des Systems der Kontraktforschung aus der Kriegsforschung. Anforderungen militärischer oder auch nur technischer Anwendbarkeit oder gar Einhaltung von Sicherheitsvorschriften spielten in den Kontrakten eine geringe Rolle.[1116] Besonders das Office of Naval Research hatte sich zu einer fast reinen Forschungsförderungsinstitution entwickelt. Daher hieß es 1949 in einem Bericht über die Förderung des ONR:

> »ONR has made good its promise to grant the contracting scientists a maximum of freedom. The office has operated on the sound assumption that the laboratory worker in basic science hates administrative detail, wants complete freedom of action and publication and generally is utterly unconcerned about the application of his findings.« (Pfeiffer; 1949:12).

Dies waren Bedingungen, wie sie in technischer Forschung *innerhalb der Industrie zwischen den Weltkriegen* nur in Ausnahmefällen existiert hatten.

2. INDUSTRIEFORSCHUNG

> Die Zahl der Mathematiker, F+E-Manager neuer Unternehmen, der Ingenieure und Physiker nahm von 1945-1955 in der elektrischen Industrie drastisch zu. Zwischen 1950 und 1955 begann die militärische Elektronik erneut alle anderen Bereiche der Elektronik zu dominieren und mit ihr militärisch motivierte F+E.
>
> Die Forschungsbedingungen hatten sich nach dem Krieg auch in der Industrie und besonders in den Unternehmen mit großen F+E-Bereichen verändert. Grundlegende Forschung, freiere Forschungsbedingungen und Kooperation in der Forschung gewannen an Bedeutung.

Das Personal in industrieller F+E hatte sich in den USA zwischen 1940 und 1947 drastisch erhöht. Tabelle 3 gibt die Zahlen für einige Jahre zwischen 1920 und 1950:

TABELLE 3: Personal in industrieller Forschung und Entwicklung der USA (Q.: Mees (1950:11), Galaxy Report (1957:4))[1117]

1920	1927	1931	1938	1940	1947	1950	1955
12	20	32	45	58	132	185	

307 in Tsd.

In den 7-Jahresperioden 1920-27 und 1931-38 war die Zahl jeweils auf das 1,4-fache ihres Wertes am Anfang der Periode gestiegen, 1940-47 aber auf das 2,3-fache und in den letzten 5 Jahren noch immer um den Faktor 1,6.

Dieser enorme Anstieg läßt sich im einzelnen noch genauer für verschiedene Industriezweige und Berufsgruppen verfolgen. Dies ist in Tabelle 4 dargestellt.

An diesen Zahlen ist einiges bemerkenswert.

[1116] Leahy (1948:193)

[1117] Die Werte für 1950 und 1955 wurde aus den im Galaxy-Report (1957:4) für ausgewählte Industrien angegebenen Werten (157.729 und 260.937) und der dort zitierten NRC-Schätzung, daß diese Industrien 85% des F+E-Personals ausmachten, ermittelt.

a) Das nahezu astronomische Anwachsen der Zahl der *Mathematiker* in der Industrie (um 1.750%) und besonders in der Elektroindustrie (zu der hier auch »Electrical Communication« zählt). Nach dem in III. Gesagten ist dies auf die folgenden Gründe zurückzuführen:

TABELLE 4: F+E-Fachpersonal in den Leitindustrien der USA (Q.: Galaxy-Report (1957:9, 70))

	1945	1950	1955	% Wachstum '45-'55
Mathematiker				
gesamt	85	204	1.573	1.750
Elektroind.	8	31	498	
Ingenieure				
gesamt	21.771	33.066	64.472	200
Elektroind.	8.572	11.618	23.299	172
Physiker				
gesamt	1.934	2.554	5.146	165
Elektroind.	648	915	2.389	270
Manager				
gesamt	4.775	6.822	9.465	37
Elektroind.	541	984	1.728	219

- die Verbreitung von Gruppen für angewandte Mathematik,

- die Verbreitung von statistischen Methoden in Operationsforschung und Produktionskontrolle,

- das Interesse am Einsatz von analogen und digitalen Rechnern und schließlich

- das relative Überangebot an Mathematikern

Dem absoluten Betrage nach war der Anteil der Mathematiker im Vergleich zu Physikern oder Ingenieuren dabei natürlich noch immer verschwindend gering. Ein Teil dieser Bewegung war dennoch die spürbare Steigerung des Interesses an theoretischen Konzepten in der Technik.

b) Die weitaus größte Berufsgruppe in industrieller F+E waren und blieben die *Ingenieure*, die ihren Anteil an der Gesamtzahl der Wissenschaftler und Ingenieure in der Elektroindustrie durch Wachstum um 172% bei knapp unter 80% hielten.[1118] Das Anwachsen der Zahl der Physiker in der Elektroindustrie wird man – zumindest was Nachrichtentechnik/Elektronik angeht, auf den Beginn der Halbleitertechnik zurückführen können, mit deren Bedarf an Festkörperphysikern.

c) Das auffallend überproportionale Wachstum der Zahl der Administratoren und F+E-Manager in der elektrotechnischen Industrie: um 219% gegenüber 37% in allen Industrien insgesamt! Ihr Anteil am akademisch ausgebildeten Gesamtpersonal in F+E oder Elektrotechnik stieg von 3% in 1945 auf 5% in 1950, wo er etwa auch noch 1955 stand (6%).[1119] Die Ursachen hierfür kann man aus der ebenso unterschiedlichen Verteilung dieser Zahl bei der Analyse von 129 identischen Unternehmen der Elektrobranche[1120] wo ihr Wachstum bei 38% lag, und der Zahl für jeweils alle Unternehmen (also auch die jeweils inzwischen neu hinzugekommenen), wo das Wachstum 219% ausmachte, schließen.[1121]

Der Löwenanteil des Anwachsens der Zahl der F+E-Manager ging auf die Rechnung neu hinzugekommener Unternehmen – man darf diese Zahlen als einen guten Index der förmlichen Aussaat von

[1118] Galaxy-Report (1957:70)
[1119] Galaxy-Report (1957:70)
[1120] In den Übersichten des NRC für 1945, 1950 und 1955 stets enthaltene Unternehmen.
[1121] Galaxy-Report (1957:70)

kleinen elektrotechnischen/elektronischen Unternehmen im Umkreis der Hochschul- und Industriegebiete der USA nach 1945 nehmen.

Dies spiegelte sich zu einem guten Teil in der Mitgliedschaft der amerikanischen Fachgruppe für Informationstheorie, der »Professional Group on Information Theory« wider, worauf weiter unten noch einmal zurückzukommen sein wird.

Der elektronische Markt war der am schnellsten wachsende der Nachkriegszeit überhaupt. Dabei machte der militärische Anteil dieses Marktes das spektakulärste Wachstum durch. Nach einer Orientierung auf kommerzielle Techniken unmittelbar nach dem Krieg ließen Koreakrieg und kalter Krieg den militärischen Anteil des elektronisch/nachrichtentechnischen Marktes 1955 auf das 40-fache seines Volumens von 1947 emporschnellen!

Tabelle 5 stellt die Teile dieses Marktes – militärische Elektronik (Flugzeug-, Raketenelektronik etc.), Konsumelektronik (Rundfunk, TV etc.) und industrielle Elektronik (Nachrichtentechnik, Computer, Regelungen etc.) einander gegenüber.

TABELLE 5: Der elektronisch/nachrichtentechnische Markt, 1947-1955 in den USA (in Mio. $)

(Q. : Harris (1947:144))

	Militärische-	Konsum-	Industrieelektronik*
1947	75	803	148
1950	400	1.589	375
1955	2.990	1.422	1.000

* Mit Ausnahme des Bell Systems, das 1956 allein noch einmal einen Markt von 500 Mio. $ ausgemacht hätte

Gegenüber dem phantastischen Wachstum des militärischen Anteils, vor allem nach 1950, nimmt sich das Gesamtwachstum der anderen Bereiche äußerst gering aus. Noch 1950 hatte die Konsumelektronik den Markt absolut dominiert. 1955 war mehr als die Hälfte des elektronischen Marktes insgesamt militärischer Natur. Dieses läßt ähnliche Zahlen für die F+E-Programme erwarten.

Von den 1,8 Mrd. $, die 1957 in der Industrie elektrischer Geräte/Nachrichtentechnik aufgewendet worden waren, kamen 1,2 Mrd. $ (67%) über staatliche Kontrakte, ein Anteil, der etwa um 10% höher lag als der staatliche Anteil an industrieller F+E insgesamt.[1122]

Im Feld der Nachrichtentechnik allein waren von den insgesamt in der Industrie verwendeten F+E-Mitteln (748 Mio. $) 70% (518 Mio.$), also ein noch größerer Anteil über staatliche Kontrakte finanziert. Mit anderen Worten, nachrichtentechnische Forschung und Entwicklung in der Industrie Mitte der 50'er Jahre war zum allergrößten Teil, und mehr als industrielle F+E insgesamt, eine Sache staatlicher Projektfinanzierung. Dies hieß, daß auch grundlegende Forschungen in Richtung kommerzieller und vor allem militärischer Anwendungen unternommen werden konnten. Dies hieß auch, daß ebenso wie bereits während des Krieges Projektkontakte zwischen verschiedenen Unternehmen, wie auch zwischen Unternehmen und Hochschulen wieder in erheblichem Ausmaß bestanden.

Was bedeutete diese Entwicklung insgesamt für die Forschungsbedingungen? Deren Veränderung läßt sich weniger klar in quantitativen Größen ausdrücken.

Das eingangs zitierte Motto bringt jedoch einen guten Teil dessen, was zu jener Zeit der Eindruck von den Lehren der Kriegsforschung war, zum Ausdruck.

K.T. Compton nannte 1946 drei wesentliche Trends innerhalb der Industrieforschung nach dem Krieg:

[1122] NSF (1965:4)

»1. Increasing interest in fundamental research.

2. A more liberal interpretation of company policy.

3. Increased tendency to cooperate with other companies in the industry or with the universities.« (Compton; 1946)[1123]

Dies waren die direkten Lehren aus der Kontraktforschung des Krieges und mit Weiterbestehen bzw. neuer Bedeutung der Kontraktforschung behielten sie ihre Rolle in der industriellen Forschung bei.

Die am weitesten vorausschauenden Unternehmen hätten erkannt, so Compton weiter, daß es für sie günstig sei, sich zu engagieren:

»in a certain amount of fundamental research which does not have an immediate practical objective in view.« (ebd.)

Der interne Grund dafür sei u.a., daß man erstklassige Leute nur halten könne, wenn man ihnen Gelegenheit gebe, an Projekten zu arbeiten, die ihre wissenschaftliche Neugier reizten und in möglichst hohem Maße selbst gewählt seien.[1124]

Am deutlichsten jedoch wird diese neue Attitüde der Industrieforschung hinsichtlich grundlegender Forschung und freierer Forschungsbedingungen in einer scharfen Kritik an deren Auswüchsen, die H. Goldberg vom National Bureau of Standards der USA 1954 vorbrachte:

»Everyone has become research and development minded, particularly in the field of military electronics where push-button warfare is now the requirement of the day. ... System planning particularly has run amok, our powers of conception now know no limits ... every engineering job applicant either wants to do research or be the president of the company.« (Goldberg; 1954:8)

Gegenwärtig, so Goldberg weiter, sei es die Ansicht, daß Forschung 95% der Arbeit sei,

»and that the conversion to hardware occurs in that mysterious process known as production« (ebd. :7).

Direkt verantwortlich für diese Entwicklung machte Goldberg die Festkörperphysik, die Entwicklung der Computer und die »broad generalized concepts of information theory« (ebd. :8).

[1123] zitiert in Furnas (1948:113). Hervorhebung - F.H.
[1124] so z.B. auch MacLaurin (1945:569)

3. DER INFORMATIONSTHEORETISCHE FACHDISKURS

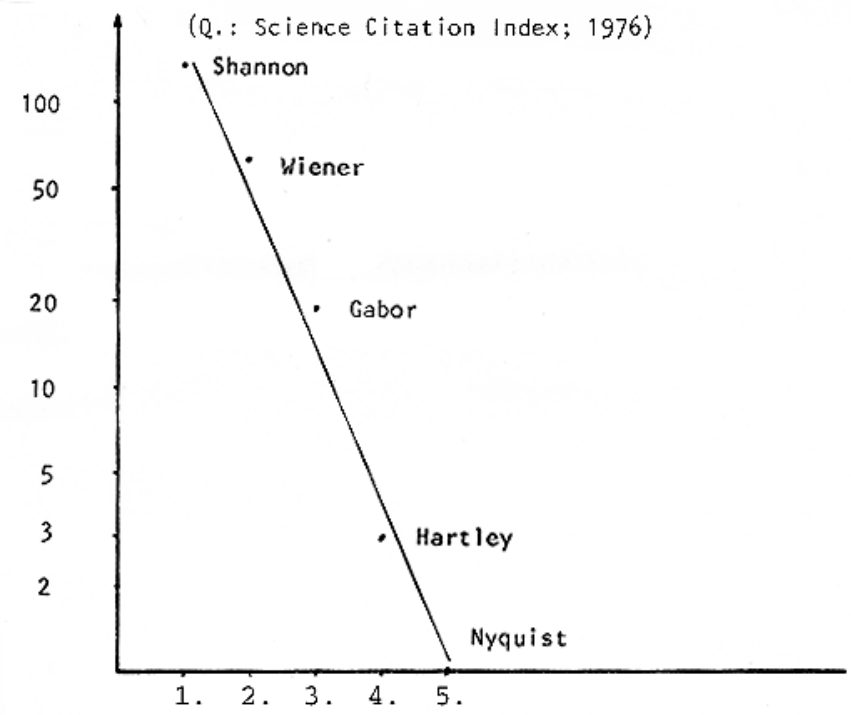
Der informationstheoretische Diskurs speiste sich aus den Trends zu mehr Mathematik (und Mathematikern) in der Technik und zu einem Promotionsboom in der Elektrotechnik/Elektronik an den wichtigsten Technischen Hochschulen der USA. Die Zahl der Interessenten an der Informationstheorie (Fach gruppenmitgliedschaft) wuchs dagegen mit den Trends wachsender Zahlen von Ingenieuren in Groß- und neu entstehender Industrie und wachsender Zahlen von Hochschulingenieuren und F+E-Managern vor allem der mittleren und kleinen neu entstehenden Unternehmen.

3.1 PUBLIKATIONEN

Der Nachkriegsdiskurs von Informationsbegriffen in der Nachkriegstechnik wurde stets von der Shannonschen Theorie bestimmt. Nur sie war eine Theorie der Information, in der der Begriff der *Informationsmenge* selbst eine zentrale Rolle für weitere abgeleitete Konzepte spielte, während er in den eher physikalisch determinierten Kommunikationstheorien Wiener's und Gabor's keine vergleichbare Bedeutung hatte – und haben konnte (I.3).

Im Jahr 1976 hatten die drei großen Kommunikationstheorien und einige andere der erwähnten Arbeiten eine direkte Wirkung in Naturwissenschaft und Technik, die sich sehr grob an der jeweiligen Zahl der im Science Citation Index verzeichneten Zitierungen ablesen läßt. In Diagramm 1 ist dies für Shannons MTC (1948, Buchausgabe 1949 und weitere Auflagen davon), für Wieners TMS (1949a und weitere Auflagen) und Kybernetik (1948 und weitere Auflagen) für Gabors TOC (1946) und für Nyquists (1924), Hartleys (1928) und Earps Konzepte (1948) unternommen. Andere der diskutierten Arbeiten fanden 1976 keine direkten Zitierungen mehr.

DIAGRAMM 1: Zitierungen der Kommunikationstheorien verschiedener Autoren im Jahr 1976
(Q.: Science Citation Index; 1976)



Inhaltlich unterschied sich die Rezeption dieser Arbeiten deutlich voneinander – ausgewertet anhand der Zeitschriften, in denen sie zitiert wurden. Obwohl dies ein sehr grober Index ist, sind die Ergebnisse nicht unplausibel, bedenkt man die Entstehung der Theorien.

Gabors Arbeit wurde in Zeitschriften der Bereiche Akustik/Sprechen/Hören insgesamt 9mal (etwa 30% aller Zitierungen) und in Zeitschriften der elektrischen Nachrichtentechnik/Elektronik 5mal (zu etwa 20%) zitiert. Die Rezeption der Wiener'schen TMS und Kybernetik konzentrierte sich auf die Bereiche Systemtheorie/Kybernetik/Automation mit 18 Zitierungen (rund 30%) und Physik/Allgemeine Naturwissenschaften mit 8 Zitierungen (13%).

Ganz anders dagegen die Rezipierung der Shannonschen Arbeit, die zum größten Teil, 20mal (15%) in Zeitschriften der Bereiche Ökologie/Verhalten/ Biosysteme zitiert wurde, 17mal (13%) im Bereich Informatik/Computer Science und 15mal (11%) im Gebiet Angewandter Mathematik / Statistik / mathematischer Biologie. Das heißt, in ihren direkten Wirkungsschwerpunkten sind die drei großen Theorien der Kommunikation heute fast vollständig disjunkt[1125] (Die Tabelle mit den einzelnen Werten findet sich im Anhang VII.6)

Was im eigentlichen Sinne unter Informationstheorie-Gruppe verstanden werden kann, konzentrierte sich jedoch in den USA um die Zeitschrift »IRE Transactions on Information Theory« (die in der obigen Aufstellung unter Informatik/Computer Science geführt wurde) und um eine Reihe von Kongressen der fünfziger Jahre. Die Zeitschrift wurde herausgegeben von der 1951 gegründeten »Profes-

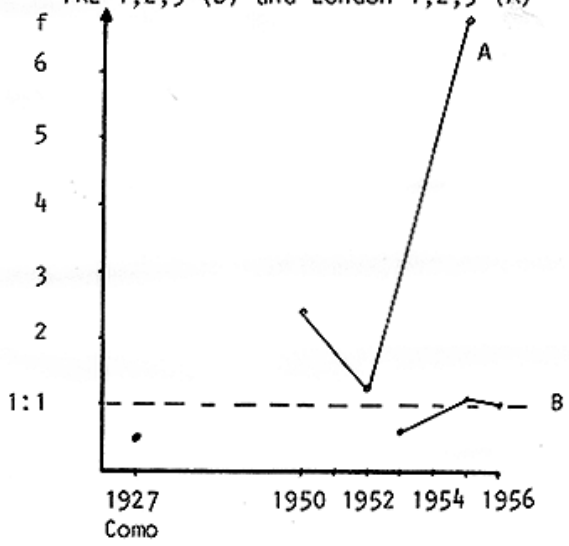
[1125] Die direkten Zitierungen dieser Arbeit kennzeichnen *nicht* in dem jeweiligen Gebiet bestehende langanhaltende Diskussionen der Theorie selbst – wo dies der Fall ist, werden längst Arbeiten späterer Generationen zitiert. Sie kennzeichen jedoch einen gewissen direkten – u.U. nur heuristischen Einfluß. Immerhin bilden die Entstehungsgebiete der Theorien auch nach diesem Index noch immer mit die wichtigsten Resonanzgebiete. Das Ergebnis für die Shannonsche Theorie läßt sich wahrscheinlich als eine Mischung aus dem Transfer des theoretischen Modells, wie der seiner Gültigkeit zugrunde liegenden Technik in andere Bereiche erklären.

sional Group on Information Theory« der amerikanischen Institution of Radio Engineers (IRE). die auch die meisten der betreffenden Kongresse mit unterstützte. Die erste Nummer der Fachzeitschrift für Informationstheorie, in der Arbeiten in Wiener- und in Shannon-Nachfolge dominierten, bildeten die Proceedings des ersten Fachkongresses für Informationstheorie, der 1950 in London abgehalten worden war (vol.PGIT-1; 1953).

Reihen von Kongressen, neben zahlreichen Einzelsymposia, schlossen sich an – eine britische (London) und mehrere amerikanische, am MIT bzw. von der IRE veranstaltet. Britische und amerikanische Konferenzreihen kann man als der Informationstheorie im »weiten Sinn« bzw. im »engeren technischen Sinn« gewidmet ansehen.

Für zwei Konferenzreihen ließen sich analysierbare Angaben zusammenstellen – für die Londoner Symposia über Informations- bzw. Kommunikationstheorie (1950, 1952 und 1955) und für die Informationstheorie-Sitzungen der IRENational-Conventions (1953, 1955 und 1956). In Diagramm 2 ist das Verhältnis der Zahl der vortragenden Autoren (Autoren x Papiere) aus Hochschulen zu den aus industriellen, staatlichen oder militärischen Labors als ein erster grober Index der Bindung des Diskurses an direkte praktisch/technische Probleme dargestellt. Zum Vergleich wurde die gleiche Zahl für den Kongress in Como (1927) eingetragen, auf dem Hartley sein Konzept vortrug.

DIAGRAMM 2: Herkunft der auf Kongressen zur Informationstheorie im weiteren Sinn (A) und im engeren Sinn (B) vortragenden Autoren. Dargestellt ist das Verhältnis, f, der Autorenpapiere aus Hochschul- zu industriellen/staatlichen/militärischen Labors für die Tagungen IRE 1,2,3 (B) und London 1,2,3 (A)



Von den 60 im Jahre 1956 in den IRE-Transactions on Information Theory publizierenden Autoren kamen 23 aus Hochschulinstituten, 4 davon waren Dissertationen. Damit bewegte sich die Entwicklung der Informationstheorie innerhalb eines Trends, in dem die Zahl elektrotechnisch/elektronischer Dissertationen sich an den 5 wichtigsten Technischen Hochschulen der USA von 1940-44 (29) bis 1950-54 (190) nahezu versiebenfacht hatte.[1126] Am MIT war der Anstieg von 6 (1940-44) auf 65 (1950-54) sogar noch größer. Im einzelnen waren es dort von 1947-1954 49 nachrichtentech-

[1126] Terman (1976:1403)

nisch/elektronische Dissertationen gewesen. Unter diesen promovierenden MIT-Absolventen waren die folgenden späteren Informationstheoretiker: R.M.Fano (1947), W.G. Tuller (1948), E.R. Kretzmer (1949), W.B. Davenport (1950), J.P. Costas (1951), T.P. Cheatham (1952), D.A. Huffman, P.E. Green, R. Price (1953).[1127]

Nachrichtentechnische Forschung an den Hochschulen, die zwischen den Weltkriegen eine verschwindende Rolle gespielt hatte,[1128] war nun für die Entwicklung der Informationstheorie von beträchtlicher Bedeutung geworden. Dies verwundert nicht, wenn man den 17 Mio. $, die 1927 für staatliche und Hochschul/College-Forschung insgesamt aufgewendet wurden[1129] (als Hartley sein Konzept vorstellte), die 460 Mio.$ gegenüberstellt, die insgesamt von Hochschulen und Colleges der USA 1953 für die Forschung verwendet wurden![1130]

Der Index in Diagramm 2 ist insofern unvollständig und irreführend, als sich auch in der Industrieforschung die Bedingungen der Forschung z.T. deutlich geändert hatten – und zwar besonders in den größeren Labors freiere Forschung als zuvor betrieben werden konnte.

Von den 60 in den IRE Transactions on Information Theory publizierenden Autoren 1956 waren (neben den bereits erwähnten) 24 aus Industrielabors und 13 aus staatlichen/militärischen oder sonstigen Labors.

19 der 24 industriellen Autorenpublikationen stammten aus den Labors von Unternehmen mit mehr als 2.500 Wissenschaftlern und Ingenieuren in Forschung und Entwicklung.[1131]

TABELLE 6: Größe industrieller Forschungs- und Entwicklungsorganisationen und ihre Beteiligung am informationstheoretischen Diskurs 1956

(Q. : Industrial Research Labs. (NSF; 1956), IRE Trans.on Inf.Th. 2;1956)

Unternehmen:	publizierende Autoren:	Zahl der Wiss. u. Ings., F+E
Bell Telephone Laboratories	7	3.675
IBM	4	4.099
RCA	3	5.274
Convair Corp.	3	2.877
Sylvania Electr. Products	2	2.697
Zum Vergleich:		
Raytheon Co.	1	75

In Tabelle 6 sind die Autorenpublikationen und die Anzahl der Wissenschaftler und Ingenieure in F+E der Herkunftslabors gegenübergestellt.[1132] Diese Tabelle enthält zudem alle Labors, aus denen mehr als eine Autorenpublikation der Industrie kam.

Aus dieser Übersicht geht deutlich hervor, daß es in erster Linie die großen elektrotechnisch/elektronischen Unternehmen waren, in deren F+E die Informationstheorie in der Industrie weiterentwickelt wurde. Von den 7 Autorenpublikationen der BTL in dieser Zeitschrift, in diesem Jahr,

---

[1127] Nach der Liste der am EE Department des MIT ab gelegten Promotionen (zusammengestellt von K. Wildes (unpubl.))
[1128] Terman (1976:1399)
[1129] Corse (1928:3 f.)
[1130] Gross (1957:11)
[1131] zusammengestellt aus NSF (1956)
[1132] Ohne die Konferenzproceedings in vol IT-2, Nr. 3.
Die F+E-Organisationen der Unternehmen waren in sehr unterschiedlicher Weise räumlich oder spartenmäßig konzentriert oder dezentral isiert. Da sich nicht für jeden Autor die detaillierte Zuordnung finden ließ, sind immer die Gesamt-F+E-Stäbe angegeben.

waren allein 5 von Mitarbeitern der Gruppe für Mathematische Forschung. Man darf diese Gruppe daher tatsächlich mit einigem Recht als ein wichtiges Zentrum der Informationstheorie in den fünfziger Jahren ansehen.

Soweit die erste Analyse eines beliebig herausgegriffenen Jahres des ITh.Diskurses. Hochschulen und Großunternehmen spielten dabei die wichtigste Rolle.

3.2 MITGLIEDSCHAFT IN DER FACHGRUPPE

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn man die Zusammensetzung der Mitgliedschaft in der Fachgruppe insgesamt betrachtet. Grundlage der Analyse ist ein namentliches Mitgliederverzeichnis der »Professional Group on Information Theory« für 1955.28) Für jedes der dort für die USA aufgeführten 1.495 Mitglieder wurde dem IRE-Directory von 1955 die dienstliche Adresse und die Berufsbezeichnung entnommen. Für 87% der Mitglieder (1.305) lassen sich diese Angaben verwenden.[1133]

In dieser Fachgruppe, die durch ihre Beiträge Kongresse mitfinanzierte, die Fachzeitschrift bezog und an lokalen, regionalen und nationalen Tagungen teilnahm, dominierten die Mitglieder industrieller Herkunft mit 71% absolut. 18% kamen aus Hochschulen und 11% aus militärischen oder staatlichen Labors.[1134]

Man vergleiche dieses Verhältnis von etwa 4:1 mit dem von 1:1 für das Verhältnis der Autorenpublikationen aus Industrie- und Hochschullabors, dem Index für die Verteilung der Gewichte in der informellen FO der Informationstheorie. 1/4 aller industriellen PGIT-Mitglieder kam aus den 7 Großunternehmen AT&T, IT&T, IBM, RCA, General Electric, Westinghouse oder Sperry.

Noch deutlicher werden die Unterschiede zwischen den an der Informationstheorie Interessierten (der PGIT insgesamt), die die große Masse der ITh.Welle ausmachte, und den ITh.-Autoren, die die Diskussion bestimmten, wenn man für beide die *Fachgebiete* einzeln betrachtet.

Während sich die Prozentanteile an der Gesamtzahl der Autorenpublikationen 1956 von Ingenieuren : Mathematikern : Physikern wie *45:28:17* verhielten und die F+E-Manager mit 10% geringen Anteil daran hatten, war dieses Verhältnis für die Gesamtmitgliedschaft *78:1:4:16* und damit völlig verschieden. Die Ingenieure dominierten die Gesamtmitgliedschaft zu mehr als 3/4, gefolgt von den F+E-Managern. Physiker oder gar Mathematiker, die doch zusammen in 1956 fast die Hälfte der Autorenpublikationen produzierten, spielten nur eine untergeordnete Rolle.[1135] Ingenieure und F+E-Manager waren an der ITh. zu weit größerem Anteil interessiert, als sie inhaltlich zu ihrer Entwicklung beitrugen. Im einzelnen sind die Angaben in Tabelle 7 zusammengestellt.

TABELLE 7: Informationstheorie: Fachdiskussion und Fachgruppenmitgliedschaft in Zahl der Autorenpublikationen (1956) und der Mitglieder (1955)

[1133] 169 Mitglieder gaben keine oder private Adressen und nur marginal vertretene Berufsbezeichnungen an (z. B. 2 Patentanwälte, 1 Schriftsteller etc.). 20 waren in sonstigen Institutionen, wie Stiftungen, Consulting-Gesellschaften o.ä. beschäftigt und einer Mediziner in einem staatlichen Labor. All diese wurden von den folgenden Analysen ausgeschlossen, die sich auf die 4 wichtigsten Fach- und die 3 wichtigsten Institutionsklassen beschränkt.

[1134] Es zählte hier stets der institutionelle Standort, nicht die Herkunft der Finanzierung, d. h. militärisch engagierte Hochschullabors werden unter Hochschullabors gezählt.

[1135] Dabei ist daran zu erinnern, daß die IRE eine Ingenieursvereinigung war und die Mitgliedschaft in der PGIT zu jener Zeit noch die in der IRE bedingte. Eine andere formal organisierte Fachgruppe für Informationstheorie existierte in den USA nicht.

	Autoren x Publikationen[1136]			Mitglieder		
	Industr.	Milit./Staatl.	Hochsch.	Industr.	Milit./Staatl.	Hochsch.
Math.	5	2	9	8	6	3
Phys.	4	3	3	23	12	18
Ing.	9	6	11	713	105	204
Mangr.	6	-	-	185	24	4

Danach kann man nun die Fachgebiete lokalisieren, die den (quantitativen) Löwenanteil an der Fachdiskussion ausmachten und die die Audienz bildeten. Zur besseren Vergleichbarkeit ist dies in Tabelle 8 noch einmal in %-Anteilen der Gesamtzahl der Autorenpublikationen bzw. der Gesamtmitgliedschaft dargestellt.

Drei Gruppen dominierten (quantitativ) die Fachdiskussion der ITh im Jahr 1956: *Ingenieure aus Hochschullabors* (hier war der Trend der wachsenden Zahl der Promotionen in Elektrotechnik/Elektronik von Bedeutung); *Ingenieure aus der Industrie* (und zwar vor allem aus Unternehmen mit sehr großen F+E-Volumina, in denen sich die Forschungsbedingungen am deutlichsten zu grundlegender und freierer Forschung gewandelt hatten) und *Mathematiker aus Hochschullabors.* Erst in zweiter Hinsicht spielten F+E-Manager aus der Industrie, Ingenieure aus staatlichen oder militärischen Labors und Mathematiker aus der Industrie eine Rolle.

TABELLE 8: Informationstheorie: Fachdiskussion und Fachgruppenmitgliedschaft in Anteilen an der Zahl der Autorenpublikationen bzw. der Mitglieder

	Anteil Autorenpublikationen			Anteil Mitgliedschaft		
	Ind.	Mil./Staatl.	Hochsch.	Ind.	Mil./Staatl.	Hochsch.
Mathem.	9%	3%	16%	1%	-	-
Physiker	7%	5%	5%	2%	1%	1%
Ingenieure	16%	10%	19%	55%	8%	16%
Manager, F+E	10%	-	-	14%	2%	-

Die Fachgruppe dagegen bestand zu mehr als der Hälfte aus Ingenieuren der Industrie, erst weit dahinter folgten im Anteil Hochschulingenieure und F+E-Manager aus der Industrie. Um der Zusammensetzung der Mitgliedschaft schließlich einige der oben erwähnten Trends zuordnen zu können, wurde für die aus der Industrie stammenden PGIT-Mitglieder gesondert deren Zugehörigkeit zu einem der genannten 7 Großunternehmen der Elektrotechnik/Elektronik festgestellt. 50% aller Industriemathematiker, 28% aller Industrieingenieure, aber nur 13% der F+E-Manager aus der Industrie kamen aus diesen Großunternehmen. Damit darf man sagen, daß die formal organisierte Fachgruppe für Informationstheorie 1955 sich vor allem aus

a) Ingenieuren mittlerer, kleiner und in geringerem Maße großer Industrieunternehmen,

b) Ingenieuren aus den F+E-Labors der Hochschulen und

c) F+E-Managern vor allem kleiner und mittlerer Unternehmen rekrutierte.

Alle diese Gruppen waren in dieser Zeit extrem schnell angewachsen, besonders deutlich b) mit dem Ausbildungs- und Forschungsboom an den Hochschulen nach dem Krieg und c) mit der Aussaat vieler kleiner Unternehmen der Elektrotechnik/Elektronik. Die Trends zu angewandter Mathematik und

[1136] Hier wurden nur 58 der 60 publizierenden Autoren berücksichtigt. Zwei waren in Institutionen anderen Typs beschäftigt und wurden – analog zum Verfahren bei der Analyse der PGIT-Mitgliedschaft – nicht berücksichtigt.

Hochschulforschung, wie zu freieren Forschungsbedingungen in den großen F+E-Einheiten der Industrie bestimmten dagegen den *inhaltlichen* Diskurs der Informationstheorie dieser Zeit.

ANHANG

I. NACHRICHTENTECHNISCHE FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND ZWISCHEN DEN WELTKRIEGEN

Bell Telephone Laboratories und Department of Development and Research der AT&T, Telegraphentechnisches Reichsamt der Deutschen Reichspost, Heinrich Hertz Institut für Schwingungsforschung und Zentrallaboratorium der Siemens und Halske AG, hatten so unterschiedlichen inneren Aufbau, unterschiedliche Funktionen im Bereich zwischen Grundlagenforschung und Konstruktionsstadien vor der Massenproduktion, wie sie in unterschiedlichen Unternehmensformen und F+E-Strukturen standen.

Es sei an dieser Stelle nun näher auf drei Typen von Forschungs- und Entwicklungsorganisationen eingegangen, wie sie die in Deutschland institutionell breit gestreute nachrichtentechnische F+E betrieben: eine Organisation der Reichspost, ein Institut zwischen Behörden, Hochschulen und Industrie und ein Industrielabor.

1. DAS TELEGRAPHENTECHNISCHE REICHSAMT (TRA) DER POST

Innerhalb der Post folgten F+E der Nachrichtentechnik den drei entsprechenden Betriebsaktivitäten der Post, Telegrafie, Telefonie und Rundfunk. Dabei war die Kopplung an die Technik und das Gewicht der anderen Aktivitäten der Post von zu großem Einfluß, als daß wissenschaftliche Forschung sich dort hätte sehr groß entwickeln können.

Das Telegraphentechnische Reichsamt war 1920 durch die organisatorische Zusammenlegung einer Vielzahl von Prüflabors und Testfeldern der Post in Berlin entstanden, räumlich jedoch noch längere Zeit zersplittert,[1137] bis 1924 mit einem zentralen Neubau begonnen wurde. Seine Aufgaben innerhalb der Post wurden so umrissen:

> »Das TRA hat der Entwicklung des elektrischen Nachrichtenverkehrs vorausschauend, dafür zu sorgen, daß die technischen Einrichtungen der DRP entsprechend den Fortschritten von Wissenschaft und Technik und mit dem Ziel der größtmöglichen Wirtschaftlichkeit ausgestattet und fortlaufend verbessert werden. Diese technische Entwicklungsarbeit kann aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nur an einer Zentralstelle geleistet werden. Nur hier ist es möglich, den erforderlichen Stab von Spezialisten ersten Ranges heranzuziehen und alle die Hilfsmittel technischer Forschung bereitzustellen, die zu einer sachgemäßen und erfolgreichen Bearbeitung der vielgestaltigen Aufgaben notwendig sind, die aus dem Betriebe ständig erwachsen.« (TRA Bericht; 1925:247)

Forschungsarbeiten, wie sie in den BTL in grundlegenden Gebieten betrieben wurden, konnten im TRA nicht lange ihren Platz behaupten. Die Zuweisung von Aufgaben an verschiedene Institutionen

[1137] Auf zeitweise 15 verschiedene Stellen in Berlin, TRA Bericht (1925:245)

folgte in der Tendenz der weiteren Entwicklung deutlich dem Muster, das bereits Mitte der zwanziger Jahre so abgesteckt wurde:

> »Forschungsarbeiten, die lediglich oder in der Hauptsache der Vermehrung wissenschaftlicher Erkenntnisse dienen, fallen nicht in den Aufgabenkreis des TRA; sie bleiben den Hochschullaboratorien und anderen rein wissenschaftlichen Forschungsstellen überlassen.
>
> Das Ziel der technischen Forschung, wie sie im TRA betrieben wird, ist regelmäßig die Lösung einer bestimmten technischen Aufgabe für den Betrieb der DRP.« (TRA Bericht; 1925:247)

Unter dem Einfluß eines rapiden technischen und betrieblichen Wachstums bis zum Ende der zwanziger Jahre begann die direkte technische Entwicklung eine immer größere Rolle zu spielen. Das Ausscheiden des TRA-Direktors Karl Willy Wagner im Jahr 1927 darf man als eine Folge davon ansehen. Im selben Jahr angegebener Grund dafür war, daß »hinter den praktischen Erfolgen der Schwingungstechnik ... die wissenschaftliche Forschung zurückgeblieben« war.[1138]

Wagner, einer der wichtigsten Theoretiker der damaligen Nachrichtentechnik, war Initiator und erster Direktor des »Heinrich Hertz Institutes für Schwingungsforschung«, auf das er nach 1927 seine Kräfte konzentrierte, damit »die Wissenschaft den Vorsprung der Praxis schnellstens aufhole«.[1139]

Man kann das Ausscheiden Wagners und die Gründung des HHI durchaus als die institutionelle Ausgliederung der Forschung aus dem TRA interpretieren – und zwar unter dem Leitprinzip der »Schwingungsforschung«. Darauf wird im letzten Absatz noch einmal zurückzukommen sein.

Nach dem Ausscheiden Wagners wurde dem TRA unter dessen nächstem Direktor, Kruckow, eine Reihe postalischer Aufgaben hinzugefügt – »Allgemeine Verwaltung, Postbetrieb, Kassen- und Rechnungsdienst, Beschaffungswesen« etc.[1140] und dieses in das »Reichspostzentralamt (TRA)« umgewandelt.[1141]

Erst am 1.1.1937 wurde die Abteilung 13 des RPZ, die für die Entwicklung von Fernsehsystemen zuständig gewesen war, ausgegliedert und hatte als »Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost« (RPF) die »Erforschung aller wissenschaftlich-technischen Probleme im Arbeitsgebiet der DRP« wahrzunehmen.[1142] Für die RPF galt, daß sie die »Aufträge ausschließlich vom Reichspostministerium, dem sie unmittelbar unterstellt« war, entgegenzunehmen hatte. Dabei sollten »Betriebsfragen der Fernmeldetechnik ... von der Forschungsanstalt grundsätzlich nicht behandelt« werden. Die Forschungsgebiete waren:[1143]

1) Fernsehen

2) Hochfrequenztechnik (elektromagnetische Wellen, atmosphärische Ausbreitung, Röhrentechnik)

3) Kabelübertragungstechnik (Breitbandkabel)

4) Meßtechnik

5) Akustik.

[1138] »Tagesereignisse« in TFT; 1927, 9:272
[1139] »Tagesereignisse« in TFT; 1927, 9:272
[1140] »Verschiedenes« in TFT; 1928, 3:86
[1141] Tritz (1939:782). Ebenso auch bei Flanze (1937:97), die weiteren Referenzen beziehen sich auf Tritz (1939:782 f.)
[1142] Tritz (1939:782). Ebenso auch bei Flanze (1937:97), die weiteren Referenzen beziehen sich auf Tritz (1939:782 f.)
[1143] Tritz (1939:782). Ebenso auch bei Flanze (1937:97), die weiteren Referenzen beziehen sich auf Tritz (1939:782 f.)

Schwerpunkt blieb bis zum Zweiten Weltkrieg die Entwicklung des Fernsehens.[1144]

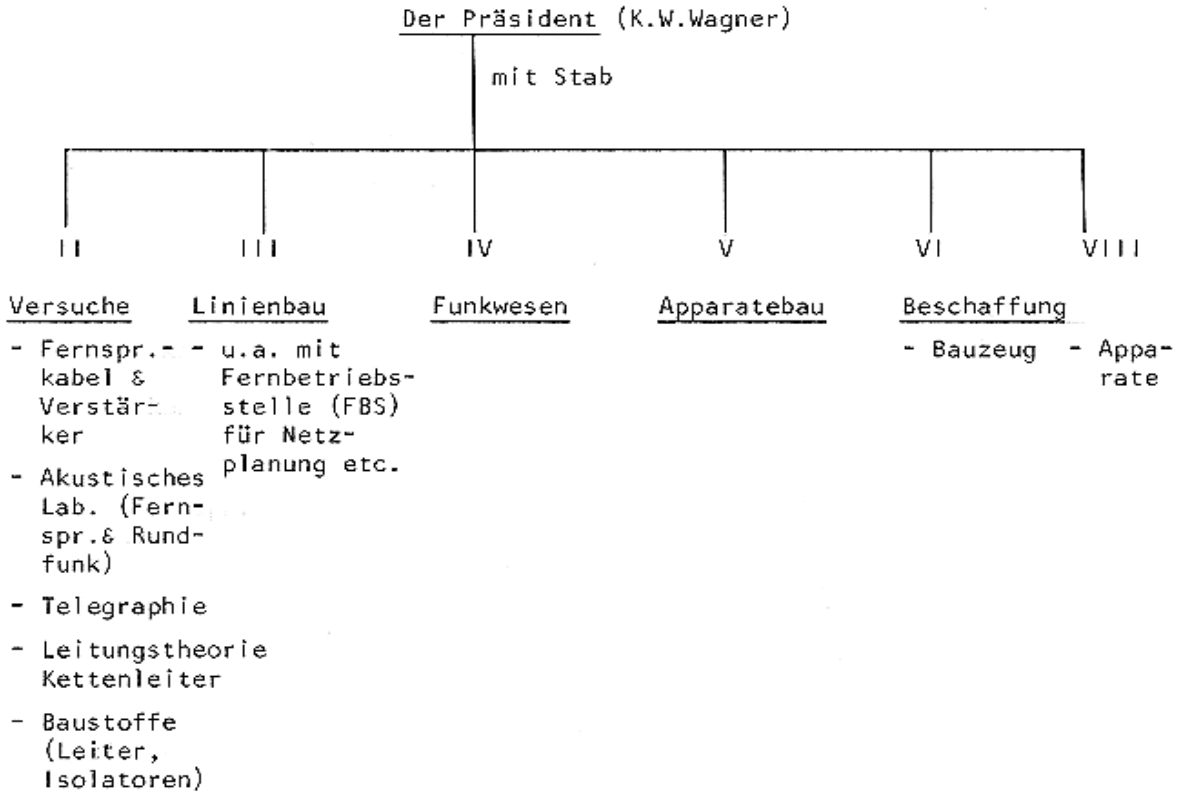
Auch in diesem Institut jedoch war – unter mehr oder weniger nationalsozialistischer Einflußnahme – davon die Rede, »nicht Forschung um der Forschung willen« zu betreiben und »strenge Disziplin aller Mitarbeiter« zu wahren (Tritz; 1939:783). Da die »Gefolgschaft verhältnismäßig klein« war, folgte die Struktur der RPF wieder dem Gruppenmodell, gab es unterhalb des Präsidenten keine Abteilungen.[1145] Grundlagenforschung, derjenigen vergleichbar, die in den BTL in den Abteilungen institutionell verhältnismäßig abgesichert betrieben werden konnte, war unter diesen Umständen kaum zu erwarten.

Abbildung 1 zeigt den Aufbau des TRA in der Mitte der zwanziger Jahre, nachdem

> »die Arbeitsgebiete der verschiedenen Abteilungen, die sich im wesentlichen aus der geschichtlichen Entwicklung der betreffenden Dienststellen ergeben hatten, ... nach den Gesichtspunkten der sachlichen Zugehörigkeit und der wirtschaftlichen Betriebsführung neu abgegrenzt« (TRA Bericht; 1925:245)

worden waren.

Abbildung 1: Der Aufbau des Telegrafentechnischen Reichsamtes, 1924 (Q.: TRA Bericht; 1925)



[1144] Die Post arbeitete nur bis zum Ausbruch des Zweiten Weltkrieges an der Entwicklung von kompletten Fernsehsystemen mit der Industrie zusammen. Danach beschränkte sie sich, ähnlich dem Vorgehen der AT&T, nur auf den Netzausbau (Handbuch;1970,1 :714).
[1145] Tritz (1939:784)

Die Zahl der Mitarbeiter betrug 1923 1.139, davon waren 125 Wissenschaftler und Diplomingenieure, ein Anteil, der mit ca. 10% weit unter dem entsprechenden Anteil bei den BTL lag. Gründe dafür waren die unterschiedlichen Ausbildungsstufen der Ingenieure in Deutschland und den USA, eine nur bedingt vergleichbare Klassifikation also und andererseits der wegen des im TRA integrierten Beschaffungswesens große Anteil der dort Angestellten (wie z. B. 276 Lagerarbeiter).

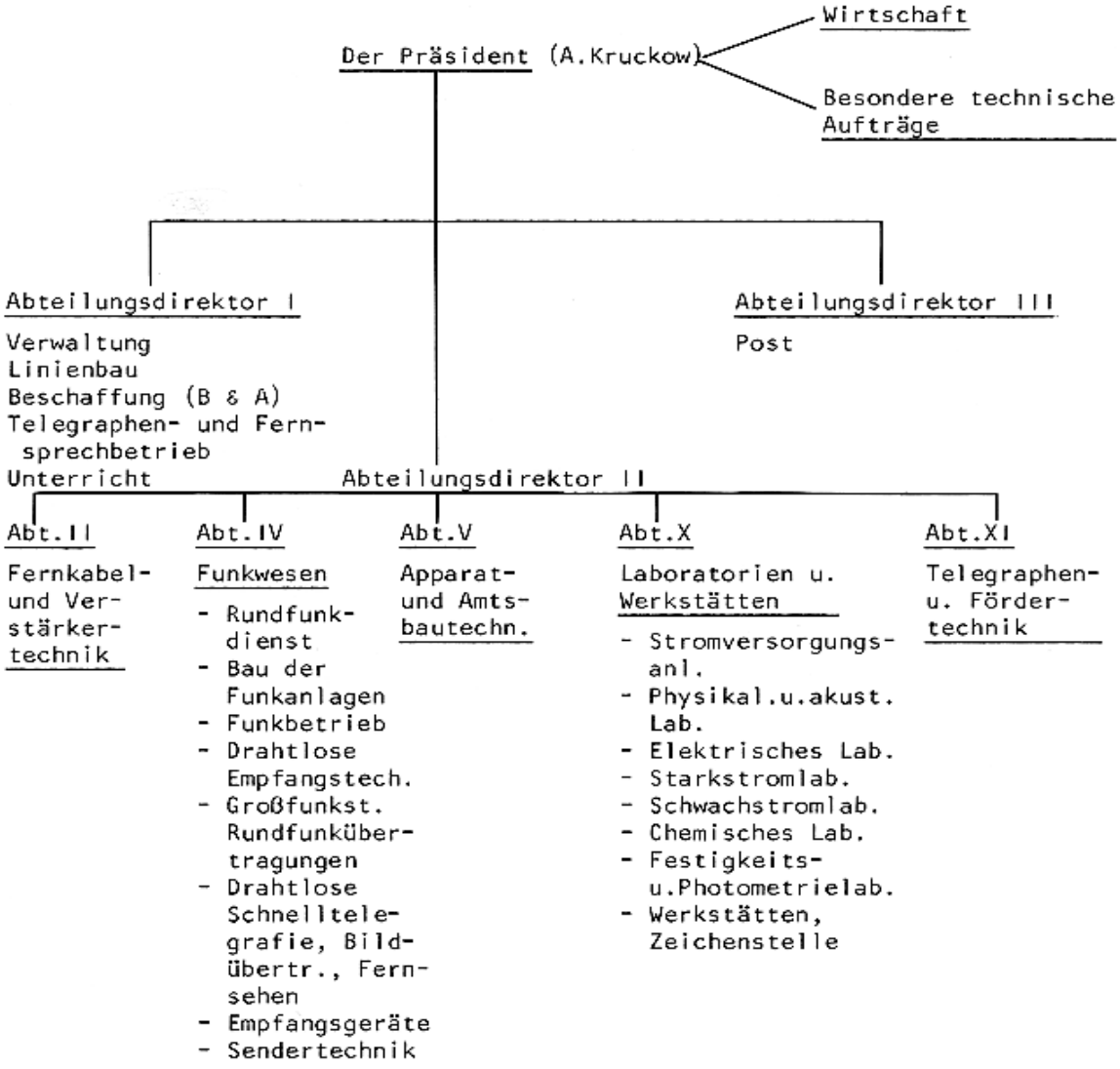
Im Bell System war das Beschaffungswesen, daran sei erinnert, Sache der Western Electric Co.

Von den 1.560 Mitarbeitern, die das Reichspostzentralamt 1929 hatte[1146], waren 938 Angestellte des TRA-Teiles, davon 94 Wissenschaftler und Diplomingenieure.

In Abbildung 2 ist die Organisation des TRA-Teils wiedergegeben, wie sie Ende der zwanziger Jahre bestand. Danach lassen sich einige Besonderheiten dieser Struktur diskutieren.

[1146] RPZ (1929:13)

Abbildung 2: Aufbau des Reichspostzentralamtes (TRA), 1929
(Q.: RPZ (1929:11))



Vor allem die Abteilungen IV und X waren für F+E im bisher diskutierten und für diese Untersuchung interessierenden Bereich zuständig.

1924 war die Forschungsabteilung des TRA (»Versuche«) mit zwei Ausnahmen deutlich nach Techniken gegliedert. Diese Ausnahmen waren die Akustik, unter deren Aspekt Rundfunk und Fernsprechen integriert waren, und die *Leitungstheorie.* Als derartig konkret abgesteckter Theoriebereich war diese letzte Gruppe ein Sonderfall. Mit großer Sicherheit verdankte sie ihre Existenz dem besonderen Interesse, das der Präsident des TRA, Wagner, an diesem Gebiet hatte. Mit seinem Weggang verschwand auch diese Gruppe. Die Organisation der Forschungsabteilung, 1929 (»Laboratorien und Werkstätten«) enthielt sie nicht mehr.

Vergleicht man den TRA-Aufbau von 1924 mit der Struktur des D&R-Department der AT&T, so zeigt sich:

Die Abteilungen III – Linienbau und V – Apparatebau haben durchaus Entsprechungen auf dieser Ebene, »Outside Plant Development« und »Equipment Development«, darüber hinaus jedoch (die

beiden Beschaffungsabteilungen einmal außer Betracht gelassen) gab es im D&R Department keine gesonderte Forschungsabteilung, sondern dafür die Abteilung »Transmission Development«, in der ein großer Teil dessen, was in Abteilung II des TRA getrieben wurde, und die Funktechnik (Abt. IV im TRA) fiel. Akustik und Materialforschung (»Baustoffe«) waren Sache der BTL.

Diese Struktur hatte sich bis 1929 im wesentlichen erhalten, es lohnt sich jedoch, einige interessante Veränderungen zu registrieren:

Die *Verschmelzung* von Telegrafen- und Fördertechnik, die den Bau von Telegrafenapparaten und Rohrpostanlagen unter einheitliche Leitung stellte. Ebenso wird in dieser Organisation deutlicher, warum es für das TRA sinnvoller als etwa im Bell System war, die Funktechnik als Abteilung zu etablieren. Zum Aufgabenbereich der Post gehörten – anders als bei der AT&T – auch Senderbau und (technischer) -betrieb, Empfangs- und Sendertechnik für Rundfunk, wie auch vorbereitend für das Fernsehen.

Mit anderen Worten, diese umfangreiche Abteilung entsprach einer Technik, die in den USA in die Zuständigkeitsbereiche ganz verschiedener Unternehmen fiel. Sie repräsentierte einen Zusammenhang, aus dem nicht ohne weiteres ein Bereich »Übertragung« ausgegliedert werden konnte. Eine völlig andere Unterteilung schlug sich daher auch in der Forschungsabteilung 1929 nieder: »Elektrisches Labor – Starkstromlabor – Schwachstromlabor« waren die Bereiche, die hier den nach Fachgebieten bestimmten Bereichen Physik, Chemie für die Technik entsprachen. Sowenig wie es auf der Abteilungsebene sinnvoll war, Übertragung als besondere Funktion aus dem Zusammenhang mit der Funktechnik zu lösen, so wenig lag es in der Forschung nahe, diesen Bereich einzuführen.

2. DAS HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG (HHI)

Ende der zwanziger Jahre wurde die Forschung des TRA praktisch ausgelagert in das HHI und dort in den Kontext der »Schwingungsforschung« gestellt. Dieser war »interdisziplinär« und entsprach der den analogen Techniken Rundfunk und Fernsprechen (Übertragung) angepaßten theoretischen Methode. Diese dominierte zu der Zeit die Nachrichtentechnik.

Das »Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung« war aus der 1927 gegründeten gleichnamigen Studiengesellschaft hervorgegangen unter der Beteiligung von Deutscher Reichspost, Preußischer Unterrichtsverwaltung, Reichsbahn-Gesellschaft, Reichs-Rundfunkgesellschaft, dem Verein deutscher Elektroingenieure und der Industrie (namentlich AEG und Siemens)[1147] Erster Präsident und Initiator dieses Institutes war K.W. Wagner.[1148] Institutionen dieser Art, eine Vielzahl institutioneller Interessen auf einen technischen Gegenstand in einem besonderen Institut zu bündeln waren eine besondere Eigenschaft der deutschen technischen Forschung. Im Bereich der Nachrichtentechnik war das HHI außerhalb Deutschlands ohne Beispiel. Es sorgte für eine enge Verbindung zwischen Industrie/Behörden und Hochschulen.[1149] Es führte »zahlreiche Prüfungen und Gutachten für Behörden und für die Industrie« aus, war zugleich aber eine »vorbildliche Stätte der Forschung und der Ausbildung des Ingenieurnachwuchses«.[1150]

Erst hier, im HHI, erfolgte unter dem Aspekt der Schwingungsforschung eine Integration von Telegraphen und Fernsprechtechnik. Neben dieser, unter der Leitung von H. Salinger stehenden Abteilung bestand das HHI (um 1930) noch aus den Abteilungen »HF-Technik«, »Akustik« und »Mechanik«.[1151]

Eine ausführliche Darstellung des allgemeinen Forschungskonzeptes dieses Institutes zeigt, daß es eine Verallgemeinerung des Programms der »Schwingungslehre« darstellte, wie sie sich in der Nachrichtentechnik der damaligen Zeit, die dominiert war von den analogen Sprachübertragungstechniken, anbot. Im HHI wurde dies zu einer Art »interdisziplinären« Programms erhoben:

> »Schwingungen spielen heute in allen Zweigen der Technik eine große Rolle... Das Gebiet der Schwingungslehre... findet man sowohl im elektrischen wie im mechanischen Gebiet, und in beiden Bereichen findet sich ... auch die gleiche Erscheinung der Wellenfortpflanzung, die immer dann auftritt, wenn ein kontinuierliches Medium (ein langer Draht, der Äther, der Erdboden, eine Mauer usw.) zu Schwingungen angeregt wird.
>
> Es ist sicher von Vorteil, alle diese Erscheinungen nach einheitlichen Gesichtspunkten zu bearbeiten. In Einzelfällen ist das bereits mehrfach geschehen; neu ist aber der Gedanke, dem ganzen Gebiet ein eigenes Institut zu widmen, das Fachleute der einzelnen Teilgebiete zu enger Zusammenarbeit vereinigt.« (Salinger; 1930:216 f.)

[1147] Salinger (1930:216)
[1148] »K.W. Wagner zum 65. Geburtstag« in AEÜ 2; 1948:118
[1149] 1930 waren von den 12 Hochschullehrern im Bereich der Nachrichtentechnik an der TH Berlin immerhin 4 der »Schwingungslehre« zugeordnet und kamen aus dem HHI. Sie stellten damit das größte einheitliche Kontingent (TH Berlin, Vorlesungs- und Personalverzeichnis 1930/31).
[1150] »K.W. Wagner zum 65. Geburtstag« in AEÜ 2; 1948:118
[1151] Personal- und Vorlesungsverzeichnis der TH zu Berlin (1930/31) 10 SAA Li 186, »Forschung und Entwicklung in der S&H AG«; 13.1.1955:2 11 Holland (1948:512)

3. FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG BEI SIEMENS

Das Siemens-Zentrallabor ging im Zuge der technischen Entwicklung und der des Marktes von einer produktbestimmten Abteilungsstruktur zu einer reinen Projektstruktur Ende der dreißiger Jahre über. In diesem Muster gab es zu keiner Zeit Platz für Abteilungen wie »Transmission Research« oder »Mathematical Research«, die in den BTL den Kontext für die ersten theoretischen Konzepte zum Begriff der Nachricht bildeten. Diese waren also keineswegs plausible Selbstverständlichkeiten in »der« nachrichtentechnischen F+E, sondern das Resultat eines komplexen Zusammenspiels der Größe der beteiligten Unternehmen, der Struktur des nationalen Fernmeldewesens, der Unternehmensstruktur und der Position von F+E darin.

3.1 F+E IM UNTERNEHMEN

Siemens und Halske und Deutsche Reichspost waren in den zwanziger Jahren durch ein System von Abnahmeverpflichtungen und Lieferquoten gegenseitig im Fernsprechsektor zu etwa 50 – 60% voneinander abhängig.[1152] Beide Unternehmen waren jedoch darüber hinaus noch in einer Vielzahl anderer Bereiche von Dienstleistungen oder Elektrotechnik engagiert. Siemens war 1938 mit 187.000 Angestellten das größte Elektrounternehmen[1153] der Welt, vergleichbar mit General Electric und Westinghouse zusammengenommen.[1154] Die F+E-Einrichtungen von Siemens galten mit 2.000 Wissenschaftlern und Ingenieuren als eine der ausgedehntesten in Deutschland überhaupt.[1155] Im Fernsprech- und Telegrafie-Bereich stellte Siemens & Halske 1936 mit 106 Mio.RM 72,8% der gesamten deutschen Produktion.[1156]

Während es eine große Anzahl, dezentralisiert in den einzelnen Siemens-Werken lokalisierter Entwicklungslabors gab, so die Vertriebslaboratorien (VI), die Prüffelder (Pr) und die Materialprüfstelle (MPS)[1157], waren für Forschung und Entwicklung im eigentlichen Sinne zwei Organisationen zuständig:

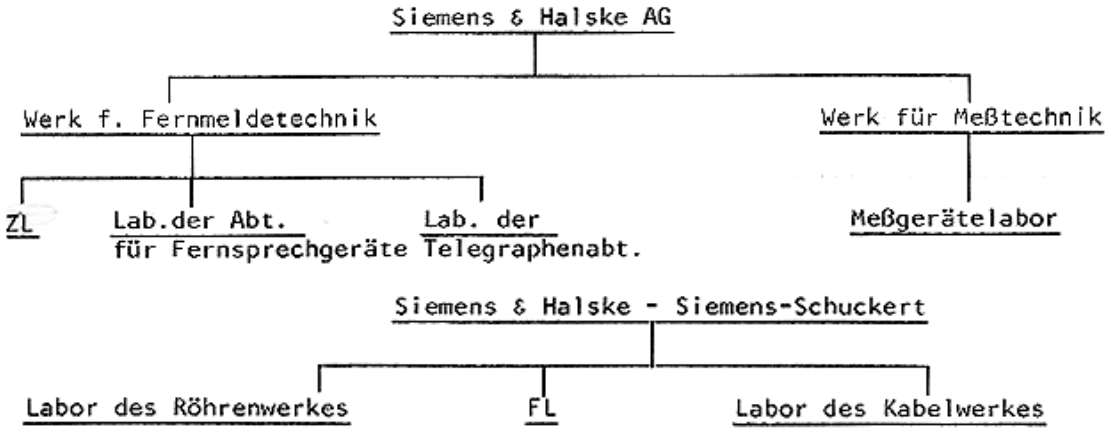
das 1921 bis 1923 aus der Zusammenlegung von 3 Labors der S&H Werke gegründete Zentrallaboratorium (ZL) für die Fernmeldetechnik bei Siemens & Halske[1158] und das 1924 durch Umbenennung aus dem »Physikalisch Chemischen Laboratorium der Siemens & Halske AG« hervorgegangene »Forschungslaboratorium der Siemens & Halske AG und der Siemens-Schuckertwerke GmbH«[1159]FL).

Im Jahre 1925 gab es 22 verschiedene Forschungs-, Entwicklungs- und Testlabors im Hause Siemens.[1160] Die Kompetenzstruktur dieser Organisationen für 1937 zeigt die Abbildung 3. In dieser Gesamtorganisation von F+E bei Siemens waren ZL für die Nachrichtentechnik und den Unternehmensteil S&H und FL für die »Vertiefung der Grundlagen der gesamten Elektrotechnik« (Reche;

[1152] Das heißt, einerseits waren in der Zeit rund 50 – 60/% der im Siemens Fernsprechgeschäft Beschäftigten für Postaufträge eingesetzt – eine Quote, die sich später erheblich veyringerte (Quelle in Anm. 26), andererseits waren etwa 60/% der von der Post bezogenen Lieferungen dieses Bereiches (in RM) von Siemens (Czada; 1969:210). Kurz: Siemens lieferte mit 50 -60/% seiner Kapazität an die Post und deckte 60/% von deren Bedarf.
[1153] SAA Li 186, »Forschung und Entwicklung in der S&H AG«; 13.1.1955:2
[1154] Holland (1948:512)
[1155] Czada (1969:279)
[1156] Czada (1969:279)
[1157] Memorandum zur Organisation von F/e, SAA Li 186; 5.1.1931:1
[1158] SAA Li 186; Brief zur Geschichte des ZL
[1159] SAA Li 185; 3.10.1924 bzw. SAA Li 186, Übersicht über ZL-Entwicklung
[1160] SAA Li 185, »Forschungsstätten, Prüf- und Versuchsanlagen bei den Werken des Hauses Siemens«; 1925

1937: 192) und das ganze Unternehmen zuständig. Sie bildeten die Schwerpunkte in einer weitgefächerten Organisation, die dem Modell einer solchen dezentralen Struktur gut entspricht (Zieber; 1948): Entwicklungsaufgaben wurden zum großen Teil von Labors durchgeführt, die den jeweiligen Werken zugeordnet waren, ausgegliedert und in ZL und FL zusammengefaßt waren nur einige Forschungsaspekte von deren Arbeit.[1161] Diese Struktur hatte sich im Laufe der Zeit mit dem Wachstum der unterschiedlichen Produktionsbereiche »organisch« herausgebildet.[1162]

Abbildung 3: F+E-Organisation für Nachrichtentechnik und verwandte Gebiete in der Siemens AG 1937 (Q.: Reche; 1937:113)*



* Wie aus SAA LI186 "Übersicht über die Organisation bei S&H" (1931) hervorgeht, bestand die oben dargestellte Struktur im wesentlichen bereits 1931.

Obwohl man die Vorteile einer Zentralisierung aller F+E-Bereiche erkannte[1163] – u.a. auch am Beispiel der BTL – war diese bei der entstandenen Unternehmensstruktur kaum durchzuführen.

In einem internen Memorandum zur Organisation von Forschung und Entwicklung hieß es 1930:[1164]

> »Die heutige Organisation der Laboratorien ist nicht nach einem bestimmten einheitlichen Plan entstanden, sondern hat sich der fortschreitenden Entwicklung der Werke und Abteilungen angepaßt. Wenn heute versucht würde, bestimmte einheitliche Richtlinien aufzustellen, die für alle Stellen Gültigkeit haben sollen, so muß dabei nach Möglichkeit Rücksicht auf die heutige, geschichtlich entstandene Gliederung genommen werden... Eine zentrale Zusammenfassung aller Entwicklungsstellen bei S&H unter einer einheitlichen Leitung wäre die organisatorisch einfachste Form. Als Vorbild könnten die Bell-Laboratorien gelten, welche in stärkster Zentralisierung die gesamte technische und wissenschaftliche Entwicklungsarbeit der American T&T und der Western Electric zusammenfassen.« (anon. ; 20.11.1930:III)

[1161] Reche (1937:111 f.)
[1162] ebenda: 113
[1163] Lüschen nennt in seinem Memorandum zur Organisation von F+E die Folgenden (SAA Li186;23.2.1931, »Zur Frage der Organisation der Laboratorien 6f.):
»Ersparnis von Personal, bessere Ausbildungsgelegenheit und daß es in einem großen Laboratorium leichter ist, höher qualifizierte Persönlichkeiten einzustellen und zu halten, weil man ihnen einen ihren Anlagen entsprechenden Tätigkeitsbereich geben kann. In einem kleineren Laboratorium, in dem die Entwicklungsmöglichkeiten beschränkt sind, werden erstklassige Kräfte nach einiger Zeit bestrebt sein, ihre Stellung zu wechseln. Der Weggang von leitenden Köpfen ergibt aber erhebliche Energieverluste, selbst wenn es gelingt, sie qualitativ bald wieder zu ersetzen.«
[1164] Memorandum zur Oganisation von F/e, SAA Li 186; 20.11.1930:III

Eine solche zentrale Organisation würde zwar eine Reihe von Vorteilen für F+E mit sich bringen, sei aber nicht zu erreichen zur Zeit, da für räumliche Integration die Möglichkeiten fehlten und klare inhaltliche Richtlinien für Kompetenzabgrenzung der dann räumlich (weiterhin) integrierten Laboratorien und Werke ein Problem bildeten. Wie die Abbildung 3 für 1937 zeigt, blieb es bei der dezentralen Struktur. Überlegungen zu verschiedenen möglichen Organisationsformen von F+E im Unternehmen wurden besonders um 1930/31 in der Zeit stark rückläufiger Geschäfte angestellt.[1165] Vermeidung von Doppelarbeit in F+E war dabei der stärkste Antrieb.[1166]

Der Unterschied der in den Abbildungen für Siemens dargestellten F+E-Struktur zu der der BTL ist deutlich. Die Entwicklung der einzelnen F+E Einheiten aus den Werken, mit deren Wachstum sie sich herausgebildet hatten, bildete Grenzen für ihre Zusammenfassung. Weder die *Forschung* war zusammengefaßt, noch die Entwicklung, noch *Forschung* und Entwicklung allein des Fernmeldebereiches. Die weitgestreuten Aktivitäten des Unternehmens vermittelten sich direkt über die Vertriebsabteilungen den F+E-Einrichtungen und veranlaßten diese zur höchstmöglichen Konzentration auf die produktbestimmten Bereiche. Deren Entwicklung war den produzierenden Werken überlassen, die Forschung nach Produktbereichen (Techniken) organisiert.

3.2 DAS ZENTRALLABORATORIUM FÜR FERNMELDETECHNIK

Abbildung 4: Aufbau des Siemens Forschungslaboratorium (FL), 1925 (Q. : SAA Li 185, »Bericht über die Arbeit des Siemens FL)

Forschungslaboratorium (Dir.: Prof.H.Gerdien)

Physikalische Abt.	Physikalisch-technische Abt.	Wärmetechnische Abt.	Kältetechnische Abt.
Magnetische Abt.	Elektronenröhrenabt. Abt.	Röntgenabt. Abt.	Mechanisch-technische Abt.
Metallografische Abt.	Physikalisch-chemische Abt.I	Phys.-chem. Abt.II	Anorganisch-chemische Abt.
Chemisch-technische Abt.	Organisch-chem. Abt.	Kolloidchemische Abt.	Konstruktionsbüro

In der Abbildung 4 ist die interne Organisation des *Forschungslabors* aufgezeigt für 1924/25. Dieses war für die allgemeinen Grundlagen der Elektrotechnik zuständig und als solches nach physikalisch-chemisch-technischen Bereichen geordnet. Für die Nachrichtentechnik selbst war es nur in beschränktem Maße zuständig. Die Anzahl der dort beschäftigten Wissenschaftler und Ingenieure zeigt, daß es sich bei der in der Abbildung angegebenen Klassifizierung nur um nicht sehr große Laboratoriumsgruppen gehandelt haben kann. Noch 1931 hieß es in einer internen Denkschritt zur Organisation der F+E im Unternehmen:[1167]

[1165] Die Besiellungen beim Wernerwerk F der S&H AG betrugen in dieser Zeit:

1929/30	1930/31	1931/32
115,6	98,7	46,2

Millionen RM (Czada; 1969:160)
Ebenso wurde in dieser Zeit die Einrichtung einer Gruppe für von der Technik freiere generelle Forschung gefordert (SAA Li 186, Memorandum; 5.1.1931:1), dem in Teil I diskutierten Mechanismus der strategischen Orientierung von Forschungsorganisationen entsprechend.

[1166] Lüschen (23.2.1931:1)

[1167] SAA Li 186, Hervorhebung - F.H.

»Das FL in seiner heutigen Form genügt der Forderung nach einer rein wissenschaftlichen Forschungsstelle nicht, da durch seinen organisatorischen Aufbau *bestimmt noch zu viel Technik getrieben wird* (die, soweit sie in das Gebiet der Nachrichtentechnik fällt, im Rahmen des ZL wegen der größeren Allgemeinerfahrungen oft wohl besser und schneller bearbeitet würde), und reine Wissenschaft, die die technischen Probleme unterstützen würde, nicht recht getrieben wird, *da die Freiheit dazu nicht besteht* und die *enge Verbindung zu dem ZL fehlt.*« (anon.; 5.1.1931:6)

Das FL war von der Nachrichtentechnik also isoliert. Obwohl seine Abteilungen für chemische und physikalische Forschung den Forschungsabteilungen der BTL formal entsprachen, war es in diesen weit weniger möglich, wissenschaftliche Forschung zu treiben. Es handelte sich hier um kleinere Arbeitsgruppen, während es in den BTL Abteilungen waren, nach denen die gesamte Forschung eingeteilt war. In einem anderen Memorandum wurde der direkte Vergleich mit den BTL angestellt:[1168]

»Die Arbeiten des FL lassen auch in dem abgelaufenen Berichtszeitraum (1929-30) engste Fühlungnahme mit den Bedürfnissen der Werke und Abteilungen erkennen. Demgegenüber treten Forschungsarbeiten einer mehr wissenschaftlich auf weitere Ziele abgestellten Richtung zurück. Es ist vielleicht nicht ohne Nutzen, unsere allgemeine Arbeitsweise nach Problemstellung und Organisation der Bearbeitung zu vergleichen mit derjenigen, die in den Forschungsinstituten der engeren Konkurrenz üblich geworden ist...[1169]

Was die großen amerikanischen Firmen der Elektrotechnik anlangt, so sind in den Bell Laboratorien nach Beobachtung des Unterzeichneten beide Arbeitsrichtungen, die wir kurz als die allgemein wissenschaftliche und die speziell zweckbestimmte unterscheiden wollen, vorhanden.« (Gerdien; 24.11. 1930:5)

Letzteres also im Gegensatz zu dem FL, von dessen Leiter, Gerdien, dieser Bericht stammte.

Wichtiger in diesem Zusammenhang noch als die Freiheit der Forschung von den direkten Anforderungen der Technik ist der *andere Kontext*, in dem im FL die Abteilungen wie »physikalische«, »chemische« Forschung standen. Eine spezielle nachrichtentechnisch forschende Gruppe hatte im FL keinen Platz. Es ist daher angebrachter, sich etwas genauer dem ZL zuzuwenden, in dem die nachrichtentechnische Forschung konzentriert war.

Abbildung 5 zeigt die interne Struktur des ZL, wie sie unmittelbar nach dessen Gründung im Jahr 1921 bestand.

Abbildung 5: Organisation des S&H Zentrallabors, 1921 (Q. : SAA Li869, ZL-Jahresbericht 28.11.1921)

Direktor

Telegraphie	Beziehung z. Starkstromt.	Fernsprechwesen	Hochvakuum- & Gasröhren	Leitungen
- Kabeltelegrafie - Telegr. m. Verstärker - Wechselstr.-telegrafie	- Starkstromstörungen	- Mikrophone - Telephone - Lautsprecher - Übertrager - Pupinspulen - Verstärkerämter - Hochfrequenzämter	- Verstärker - Sender - Gleichrichter - Blitzableiter	- Telegr. – & Fernsprechkabel - Mehrfachausnutzung der Leitungen - Beseitigung d. Nebensprechens - Spezial instrum.

[1168] SAA Le405, FL-Bericht 1929/30, Memorandum von H. Gerdien (24.11.1930:5) 23 »ZL Gliederung« (30.9.1936, SAA Li 869)
[1169] Neben den BTL werden hier AEG und General Electric angesprochen.

Diese deutlich nach 4 großen Produktbereichen aufgeteilte ZL-Struktur wandelte sich unter dem Einfluß von Wachstum und technischer Entwicklung[1170] über eine in 3 inhaltlich nicht mehr sehr stark definierte »Arbeitsgebiete«, die die ursprüngliche Trennung nach Telegrafie – Telefonie nur noch undeutlich zeigten, zu einer reinen Gruppenstruktur mit 12 gleichgeordneten Gruppen direkt unterhalb der ZL-Leitung.

Die entsprechenden ZL-Strukturen, 1935 und 1937, sind in den Abbildungen 6 und 7 wiedergegeben.

Abbildung 6: Der Aufbau des Zentrallabors der S&H AG, 1935 (Q.: SAA Li869 ZL Jahresbericht)

	Zentrallaboratorium Dir.: Pohlmann	
Arbeitsgebiet I	Arbeitsgebiet II	Arbeitsgebiet III
Telegraphie	Fernsprechen	Kinotechnik
- Gleichstrom- und Unterlagerungstelegr.	Gruppe Wolman	- Filmapparate
- Wechselstromt.	- Fernleitungsverst.	- Filmprüfgeräte
- Kontaktrelais	- Stromversorgungsanlagen	- Fotografische Untersuchungen
	- E-Werk Telefonie	- Filmoptik
Meßgeräte u. Rundfunk	Gruppe Thierbach	
- Meßgeräte (4 Labs.)	- Trägertelephonie(Kabel)	
- Rundfunktechnik	- Trägertelep. (Freileitgn.)	
- Rundfunkentwicklung	- Drahtloses Fernsprechen	
Funkwesen	Einzellaboratorien	
- Fernsteuerungen und Fernmessgn.	-Fernkabel & Freiltgn.	
- Hochfrequenzgeräte f. Fernsteuer.	- Starkstromeinwirkg. auf Fernmeldeanlagen	
- Physikalische Sonder-	- Weitfernsprechsysteme*	
Optik	Elektroakustik I **	
- prakt. u.konstruktive Optik	- elektroak. Fernspr.einrichtgn.	
- optische Entwicklung		
- Reproduktionstechnik		
Elektroakustik I I**	Leitungsmaterial, Zubehör	
- elektr. Schallgeräte	- magn.Werkstoffe (2 Labs.)	
	- chemische Untersuchungen	
	- Kondensatoren	
	Induktive, Kapazitive Zusatzmittel	
	- Kondensatoren	
	- Widerstände	

* Leiter: Strecker
** stehen unter einheitlicher Leitung

Abbildung 7: Aufbau des ZL der S&H AG 1937 (A.: SAA Li186 Organisation des ZL)

		Zentrallaboratorium Abteilungsleiter: Dr. Mayer		
Telegraphie Dr. Reche 5 Labors 55 Mitarb.	Fernkabel & Weitverkehr Dr.Strecker 5 Labors 40 Mitarb.	Isolierstoffe & Kondensatoren Dr. Linder 5 Laboratorien 47 Mitarbeiter	Fernsteuerungen Schuchmann 7 Laboratorien 54 Mitarbeiter	
Trägerfrequenztechnik Dr. Thierbach 7 Laboratorien 59 Mitarbeiter	Magnetische Werkstoffe& Spulen Kersten 6 Laboratorien 39 Mitarbeiter	Optik Dr. Ewald 6 Laborat. 33 Mitarb.	Elektroakustik Dr. Janowsky 3 Lagors 22 Mitarb.	
Meßgeräte	Funktechnik	Verstärkertechnik	Elektrophysik	Einzellaborat.

[1170] Darauf geht beispielsweise auch Lüschen (23.2.1931:2-4) ein:
»Im Laufe der Entwicklung der Fernmeldetechnik hat sich, besonders in den letzten Jahren, eine Schwierigkeit insofern ergeben, als ihre einzelnen Gebiete nicht mehr für sich nebeneinander bestehen, sondern ein Ganzes bilden, dessen Teile stark ineinandergreifen.«

Dr. Buchmann	Schöne	Dr. Wormann	Dr. Tuczek	6 Labors
3 Labors	3 Labors	4 Labs.	2 Labors	54 Mitarb.
32 Mitarb.	29 Mitarb.	47 Mitarbeiter	14 Mitarb.	

Der Schritt zur weiteren Aufteilung wurde 1936 getan, als man wegen der offensichtlichen Unbeweglichkeit dieser großen Arbeitsgebiete, die ohnehin kein inhaltlich oder produktorientiertes Dach mehr boten, zur Bildung von 12 kleinen Laboratoriumsgruppen mit nie mehr als 7 Laboratorien und je zwischen 30 und 60 Mitarbeitern Dies erlaubte eine kohärentere inhaltliche überging.[1171] Dies erlaubte eine kohärentere inhaltliche Definition dieser kleineren Gruppen.[1172]

> »Infolge der neuen Regelung war es möglich, Einzellaboratorien mit gleichartigen Arbeitsgebieten straffer zu Gruppen zusammenzufassen. Den Gruppenleitern, die dem Abteilungsleiter direkt unterstellt sind, wurde größere Verantwortung gegeben.« (30.9.1936:1)

Ein Jahr später war dies das Prinzip der »grundsätzlichen Organisation des ZL«: »das gesamte Arbeitsgebiet des ZL eingeteilt in Gruppen (Gruppenleiter), diese unterteilt in Laboratorien (Laboratoriumsvorsteher)«.[1173] Dieser Einteilung folgte eine »Neuregelung des Schriftverkehrs, bei der den Gruppenleitern und Laboratoriumsvorstehern eine größere Selbständigkeit und erhöhte Verantwortung zugewiesen wurde.«[1174] Innerhalb dieses Jahres hatte die Neuregelung sich »gut bewährt«[1175]

Was weiter oben im Hauptteil der Arbeit als notwendige Voraussetzung kontinuierlicher Forschung angegeben wurde, das einheitliche Leitprinzip für die längerfristige Forschungsarbeit, existierte hier organisatorisch ablesbar nur noch innerhalb dieser Arbeitsgruppen. Diese waren im ZL insgesamt völlig gleichgestellt. Eine Hierarchie, die ihre Position innerhalb des Gesamtbereiches auch inhaltlich deutlich gemacht hätte, existierte nicht. Die Größenordnungen von BTL-Forschungsabteilung und ZL waren in der Mitte der dreißiger Jahre vergleichbar: 830 Personen insgesamt im BTL-Research ZL: Department und 685 im ZL:[1176] Die Position beider Organisationen im Spektrum zwischen Grundlagenforschung und Entwicklung/Konstruktion war allerdings unterschiedlich. Die BTL-Abteilung war weiter im Bereich der Grundlagen aktiv, ein Teil der ZL-Aktivitäten wäre dort unter Entwicklung gelaufen. Es mag sein, daß die sich im Grundlagenbereich anbietende Ordnung nach Wissenschaftsbereichen, Physik, Chemie, eine ähnlich allgemeine Zusammenfassung auch im nachrichtentechnischen Bereich verlangte. Wichtiger aber noch erscheint der Unterschied in der Position im Markt, auf den die Siemens-Forschung wesentlich schneller zu reagieren hatte. Anfang der dreißiger Jahre hatte sich der Post-Anteil am Siemens-Fernsprechgeschäft auf 30% verringert[1177] und man war auch hier auf andere Märkte angewiesen, in denen man sich starker Konkurrenz gegenübersah.

[1171] In ZL-Jahresbericht (1.10.1935-30.9.1936, Anlage 1, »ZL-Gliederung«; 30.9.1936 in SAA Li869) heißt es (p.1): »Während bisher unter Führung des Abteilungsleiters die drei Hauptarbeitsgebiete von je einem, zur Leitung des ZL gehörenden Bevollmächtigten verantwortlich vertreten wurden, sieht die neue Regelung als alleinigen Leiter des ZL den Abteilungsleiter vor.«
Und unterhalb dieser Leitung die gleichberechtigten Gruppenleiter. Man vergleiche die Größe dieser Gruppen mit den 148 Mitarbeitern, die 1930 das »Transmission Research Department« der BTL bildeten (BAA Organiz.chart, »Transmiss.Res.Dept.«; 1.10.1930). Dieses hätte danach der Zusammenfassung dreier solcher Gruppen entsprochen. Tatsächlich enthielt es vier solcher Gruppen, eine von ihnen die für »Mathematical Research«.

[1172] »ZL Gliederung« (30.9.1936,SAA Li 869)

[1173] SAA Li 869, ZL-Jahresbericht, 1.10.1937-30.9.1938

[1174] SAA Li 869, ZL-Jahresbericht, 1.10.1937-30.9.1938

[1175] SAA Li 869, ZL-Jahresbericht, 1.10.1937-30.9.1938

[1176] Quellen: ZL-Bericht (1935/36, SAA Li 869) und »The Research Department of the BTL«; 14.2.1935:2, BAA O.E. Buckley, Company Files, Drawer 5, File FCC

[1177] »Vergebung der Reichspostaufträge«, Anlage 1933, SAA 4/2 f. 698

Die wichtigsten externe Quelle für F+E-Aufgaben des ZL waren die Vertriebsabteilungen, nach deren Ordnung sich daher organisch die Projektstruktur des ZL entwickelte. So hieß es beispielsweise im ZL-Bericht 1928/29:[1178]

> »Im Berichtsjahr ist die Zahl der dem ZL von den Vertriebsabteilungen zugewiesenen Aufgaben wieder stark gestiegen, so daß räumliche Erweiterungen, Personalvermehrung und Neugliederung der Arbeitsgebiete notwendig wurden.« (ZL-Bericht; 1928/29:1)

Entsprechende neue Arbeitsgebiete waren dann »Zweibandtelefonie, Hochfrequenztelefonie, Ferntagungsanlagen, ..., Sprechfilmentwicklung, ..., Telegraphenapparaturen« etc. Wie sich in der Entwicklung der ZL-Struktur bis dahin gezeigt hatte, konnten unter diesen Umständen die ehemals inhaltlich bestimmten Abteilungen nicht stabil bleiben. In den BTL, für die Probleme des Marktes nur mehr begrenzt eine Rolle spielten, blieb die Abteilungsstruktur während der gesamten Zeit einigermaßen stabil erhalten.

Ebenso war der Unterschied in der Finanzierung der Projekte ablesbar. Sie erfolgte im ZL durch die verschiedenen Produktionsabteilungen, »die den unmittelbaren Nutzen aus den Entwicklungsarbeiten ziehen.« Ein Verfahren, das nach Selbsteinschätzung zu

- »Reibungsflächen zwischen Labor und Abteilungen«
- »Kostspieliger Verwaltungsarbeit«
- »Beanspruchung der Leitung der Abteilungen und des Laboratoriums durch wiederholte Einzelverhandlungen«
- »Entmutigung der ausführenden Stelle des Laboratoriums«

führte. (Lüschen; 23.2.1931:11)

Das in der Finanzierung der BTL-Arbeiten übliche Verfahren, Grundlagenforschung von der AT&T, Entwicklung von der Western Electric nach einem Jahreskostenvoranschlag finanzieren zu lassen, erschien auch Lüschen in seiner Denkschrift (1931) für Siemens im Interesse der Forschung erstrebenswert.

Dieses waren die Mechanismen, über die sich die unterschiedlichen Strategien, die man kurz als »Eine Technik in allen ihren Funktionen« für Bell und »Viele Techniken in der Produktion ihrer Teile« für Siemens angeben kann, direkt in der Organisation der Forschung niederschlugen. Während der US-Fernsprechmarkt sich fast ganz innerhalb des *Bell Systems* befand, war er in Deutschland ein Teil des Marktes, in dem Siemens agieren mußte.

Unter diesen Umständen war Forschung in der oben für die BTL beschriebenen Weise im ZL nicht möglich:

> »...ist es im Rahmen der vorhandenen Mittel, der Organisation, der Terminarbeit und speziell der Art des Entwicklungsberichtswesens nicht möglich, reine forschungsmäßige Aufgaben zu erfüllen, die vorläufig keinen direkten technischen Sinn haben.« (anon.; 5.1.1931:6) «[1179]

[1178] SAA Li869, ZL-Jahresbericht 1928/29:1, so auch in Lüschen (23.2.1931:1).
»Für die Geschäftspolitik sind bei Siemens & Halske die Vertriebsabteilungen verantwortlich. Sie sind also auch verantwortlich und daher richtunggebend für die technische Entwicklung in ihrem Geschäftsbereich. Auch auf die Fabrikation üben sie einen maßgebenden Einfluß aus, nicht nur insofern, als sie Art, Anzahl und Lieferfristen der Fabrikrate bestimmen, sondern auch, indem sie die Wahl der Methoden beeinflussen.«

[1179] Memorandum vom 5.1.1931:6 in SAA LI186, »Über die Organisation von F+E bei Siemens«. Die Bindung an die universitäre Wissenschaft und ihr Statussystem mußte in einer derartigen Struktur enger sein, da nur mit größeren Konzessionen an diese in dezentralisierten Forschungseinrichtungen, eng an die technische Entwicklung gebunden, hochqualifizierte Wissenschaftler von dort zu bekommen waren.

Diese 1931 getroffene Feststellung galt im Prinzip in der gesamten Periode zwischen den Weltkriegen.[1180]

Während sich in den BTL die Fachbezeichnungen der einheitlich als »member of technical staff« geführten Wissenschaftler und Ingenieure nach den Funktionen innerhalb der BTL richteten (»Transmission Research Engineer«, »Mathematical Research Engineer«, »Transmission Development Engineer« etc.) und auf den Gebrauch akademischer Grade verzichtet wurde, waren bei Siemens die Laborabteilungsleiter Professoren und Titel und Fachbezeichnungen folgten dem akademisch Üblichen. Um daher Wissenschaftler hohen Ranges für die Forschung zu gewinnen, wurde vorgeschlagen (Memo; 5.1.1931:6, SAA Li186):
»Dem ZL angegliedert und frei der Leitung unterstellt wird eine wissenschaftliche Forschungsgruppe gegründet... An die Spitze dieser Gruppe wird ein moderner Experimentalphysiker ... gestellt. ... Dieser Leiter erhält 4 bis 5 Assistenten, unter denen sich ein ausgesprochener Theoretiker befinden muß ... Nach Möglichkeit soll der Leiter versuchen, durch Heranziehung von Doktoranden sich weitere Arbeitskräfte zu sichern. Letzteres würde ihm das Aufgeben seines Lehrberufes leichter gestalten. Diese Personalbesetzung hat sich in den Forschungsstätten der IG und der AEG bestens bewährt.« (Hervorhebung – F.H.)
Es erhebt sich die interessante Frage, ob der oft gerühmte enge Kontakt zwischen Hochschulen und Industrie in Deutschland z.T. die Folge bestimmter F+E-Strukturen innerhalb der Industrie war.
So z. B. Holland (1948:510):
»The universities were the heart of German fundamental research. *Industry-sponsored post-doctorate research assistants to professors, a system not practized elsewhere*, greatly aided the work«. (Hervorh. – F.H.) Diese Frage kann hier nicht untersucht werden. – Wodurch auch immer im allgemeinen bedingt, für den Gegenstand der Nachrichtentechnik jedenfalls war die spezielle Struktur des Fernmeldewesens (Post – Industrie) verantwortlich für die breite institutionelle Streuung von F+E.

[1180] Generell verschob sich mit dem Beginn der Nazizeit das Schwergewicht in der industriellen F+E Deutschlands auf die angewandte Forschung. So z. B. in der NRC-Studie über industrielle Forschung außerhalb der USA(Cooper; 1941:201)

II. STAND DER TELEGRAFENTHEORIE IM BELL SYSTEM 1934

MEMORANDUM VON H.NYQUIST AN A.B. CLARK (6.7.1934, BAA 6.022) (Auszug)

This is to review the status of work on the fundamental transmission theory of telegraph.

In the early part of 1917 it was thought that telegraph theory was an important subject, and it was agreed I should spend all my time on learning the subject and finding out new facts as well as collecting old ones. From July 1 to the end of the year I spent substantially all of my time on the subject and began to be familiar with the more elementary parts of the subject. In addition, Mr. Huxley spent this time on telegraph theory but more particularly on the phase of duplex balancing. In addition, Mr. Carson wrote some memoranda which pertained to telegraph transmission theory.

At the end of 1917, 1 was transferred to current work on telegraph developments and later to signal ing work. However, from then on 1 spent only part of the time on telegraph (and usually a small part). This work was current development work but a certain amount of fundamental work was done incidentally. This incidental work was subsequently incorporated in a paper. Various engineers did also fundamental work in connection with submarine cable work.

In addition, there was a great deal of fundamental work done by Messrs. Hartley, Horton, Mathes, Hogg and some others in the research department. For the last ten years, however, there has been very little done as far as 1 know.

In developing the metallic telegraph (other than duplex balance), the procedure was a cut-and-try one. An element in the cirucuit such as a condenser would be altered and the resulting effect on characteristic distortion would be noted. This procedure was as far as 1 know the only one which could be used at least at that time. We had to design for a distance of 1000 miles and it does not seem that any theory then available would suffice for this. lt is true if we had had all the knoweldge now in our possession we would have proceeded somewhat differently (or at least 1 would have been in favor of it), but even so we would have had to use a large measure of empirical methods.

We have not had sufficient man power to devote as much time as we would like to fundamental work. In 1919 and 1920 Messrs. Kirkwood, Gannett, Huxley and Hartig were lost to our work for one reason or another. This loss was only partly made up by the addition of Messrs. Roberts and Herman about this time. More recently Mr. Clapp ceased to devote his time to telegraph and more recently still Mr. Roberts has had to leave telegraph work without replacement (Mr. Minns left the employ of the company). Mr. Herman is now on sick leave and while it was expected that Mr. Pfleger would approximately fill his place, a job of more immediate urgency has required his time.

lt is not easy to make out a good case for doing much different in this respect than we have done. 1 would like to see one engineer devote all his time to telegraph fundamentals. When one considers the size of the Bell System and the great part that telegraph plays in it, this seems like a modest enough proposal. On the other hand, it may well e that such work is somewhat of a luxury. The voice-frequency telegraph[1181] seems to get along pretty well in the main without much benefit of fundamental theory. The d.-c. telegraph[1182] would doubtless be helped greatly

[1181] Wechselstromtelegraphie
[1182] Gleichstromtelegrafie

by such work, but it does not appear to be of great economic importance. lt is one of the minor discomfortures of a telegraph theorist's existence that his results are often of little economic value.

Now, as for recommendations, while I personally would like to see somebody study telegraph in the manner that Mr. French studies telephone (the parallel is not close), and while this was doubtless Mr. Osborne's well-considered plan at one time, I am rather willing to admit that this is not practical in a group like ours. On the other hand, it should be practicable to let Mr. Pfleger devote all his time to solving the problems in d-c. telegraph which have come up. In this work he should be directed to follow such fundamental material as is available and to develop further fundamental theory incidentally to his specific job. He should be free from all smaller jobs, however.

N. NYQUIST

III. ZU DER METHODE DER AUSZÄHLUNG DER BIBLIOGRAFIEN

Die Publikationszahlen wurden aus den folgenden Bibliographien und Abstraktzeitschriften ermittelt:

Jahrbuch der Elektrotechnik, Band 9 (1920) bis 16 (1927). Der Band 16 war der letzte dieser Reihe. Die Jahreszahlen geben den Zeitpunkt des Erscheinens der registrierten Arbeiten wieder, die Bände selbst erschienen in der Regel 2 Jahre später. Diese Jahrbücher geben die erschienene Literatur in größer Vollständigkeit wieder. Sie sind in die Teilbereiche Allgemeines, Elektromechanik, Elektrochemie, Elektrisches Nachrichten- und Signalwesen, Messungen und wissenschaftliche Untersuchungen eingeteilt. Für die Analyse dienten hier die Abschnitte Telegraphie und Telephonie, die neben dem Abschnitt Elektrisches Signalwesen, elektrische Meß- und Registrierapparate, Uhren den Teil Elektrisches Nachrichten- und Signalwesen bildeten. Funk wurde unter Telegrafie bzw. Telefonie »ohne fortlaufende Leitungen« verzeichnet.

Science Abstracts, Ser.3, Electrical Engineering, Bände 24 (1921) bis 31 (1928) und 42(1939). Nach Band 32 (1929) wird eine alphabetische Klassifikation verwendet, die eine Separierung der hier interessierenden Gebiete nicht mehr erlaubt. Für 1939 wurden die Arbeiten im einzelnen durchgesehen und nach der Klassifikation in den einzelnen Heften hier aufgeführt. Die Besprechung der einzelnen Arbeiten ist ausführlicher als in den JBET, dafür beschränkt sich das Verzeichnis auf wichtigere Originalarbeiten.

Technische Zeitschriftenschau. Teil Elektrotechnik, Band 13 (1928) ab Nr. 3:17. Dieser Teil der obigen Zeitschrift tritt die Nachfolge der JBET an, ist aber ab 1929 radikal in seiner Vollständigkeit reduziert und wird daher nur für 1928 verwendet. Die Einteilung ist etwas anders, als im JBET, ließ sich aber auf diese reduzieren.

Zeitschriftenschau des Reichspostzentralamtes, Bände 7 (1930/31) bis 13 (1936/37) als Manuskript gedruckt. Band 14 (1937): *Zeitschriftenschau der Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost*, ebenfalls als Manuskript; Bände 15 (1938) und 16 (1939) unter *Schriftenschau der RPF* im Verlag Richard Dietze. Bis 1938 hat diese Abstraktzeitschrift einen ähnlichen Charakter wie die Electrical Engineering Abstracts: längere Besprechungen wichtigerer wissenschaftlich/technischer Arbeiten. Erst 1938 und 1939 werden wieder viele Artikel nur erwähnt, weniger wichtige und solche zu den diversen Problemen des Betriebes, Übersichten, Kongresse, Besprechungen, abgeänderte Fassungen etc. aufgeführt.

Aus dieser Aufstellung läßt sich bereits ersehen, warum die Jahre 1921, 1927 und 1939 als Fixpunkte gewählt wurden. Sie umspannen den gesamten Zeitraum und lassen eine einigermaßen kohärente Analyse zu. Es wäre wünschenswert gewesen, auch für die Zeit um 1933-1935 einen solchen Schnitt durch die Publikationsentwicklung zu legen, aber dafür ist kein vergleichbares Ausgangsmaterial zu erhalten.

Aus diesem Grund ist auch die komulative Darstellung der Publikationsentwicklung für nähere Analysen nicht geeignet, die über die Konstatierung der Sättigung des Gebietes der Telegrafie hinausgehen. Die Abflachung des Wachstums in Funk- und Telefontechnik kann zu einem guten Teil Artefakt des Überganges auf eine anders angelegte Bibliographie sein.

Die Einteilung in Telegrafie, Telefonie und Funk folgt den in den Bibliographien vorgenommenen Einteilungen mit geringfügigen Ausnahmen. Im JBET ist die Funktechnik 1921 explizit abgegrenzter Teil der Telegrafie, 1927 von Telegrafie und Telefonie. Diese Teile wurden jeweils zusammen unter Funk notiert, der jeweils verbleibende Rest unter Telegrafie bzw. Telefonie. Für 1939 wurden die Abschnitte »Fernmeldewesen« und »Fernmeldebetrieb« hinzugenommen, soweit sie die Telefonie betrafen, da sie auch im JBET Teil des Fernsprechwesens waren.

Die Zahl der jeweils verwendeten Zeitschriften ist für den elektrotechnisch/ naturwissenschaftlichen Bereich vergleichbar. 1921 werden vom JBET 120 Zeitschriften ausgewertet, davon 52 aus dem Bereich der Elektrotechnik und 15 aus den allgemeinen Naturwissenschaften und der Physik. 1927 sind es 260 Zeitschriften, 101 davon aus der Elektrotechnik und 25 aus den allgemeinen Naturwissenschaften und der Physik. Für die Science Abstracts werden 1927 159 Zeitschriften vor allem aus Elektrotechnik und allgemeinen Naturwissenschaften und Physik ausgewertet. Alle wichtigen englischsprachigen, deutschen, französischen, japanischen und skandinavischen Zeitschriften werden für diese wie auch die Schriftenschau RPF (in der keine Angaben sind über die Zahl der verwendeten Zeitschriften) herangezogen.

Bei allen Bibliographien, besonders aber der englischen, kommen Überlappungen vor, d. h. einige Arbeiten sind mehr als einer Kategorie zugeordnet. (wie z. B. Hartley (1928) unter »Telephony« und »Telegraphy and Telephony, wireless« auftaucht). Mit der Berücksichtigung solcher Überlappungen wird die Publikationszahl als Index der Wissensproduktion in den einzelnen Gebieten feiner, als wenn die Arbeiten nur je einmal verzeichnet würden. Es ist dann nicht die Arbeit, sondern der Aspekt, zu dem sie etwas beiträgt, die Einheit der Analyse.

Zur inhaltlichen Auswertung: Schwieriger als die Zahl der in festgelegten Kategorien angeführten Arbeiten lassen sich inhaltlich enger bestimmte Bereiche auszählen. Benutzt wurden für diese Analyse die deutschen Bibliographien für 1921, 1927 und 1939, da in diesen die Gebiete inhaltlich bereits feiner vorstrukturiert waren. Die in Frage kommenden Bereiche (Allgemeines, Theorie, Betrieb, Modulation) wurden dann im einzelnen durchgesehen und die generellen Arbeiten in drei Teile eingeteilt:

a) allgemeine Theorie (z. B. Telegrafentheorie, Verkehrstheorie, allgemeine Übertragungstheorie)

b) technische oder theoretische Gesamtsichten (z. B. Analyse der Fernschreibtechniken, Vergleich verschiedener Systeme, Fernsprechen und Fernschreiben)

c) geographisch (technisch/wirtschaftliche), statistische, historische Übersichten und Kongreßberichte (z. B. Fernsprechwesen in Großbritannien etc.) Dabei werden die jeweiligen Arbeiten dem Gebiet zugeordnet, unter dem sie eingeordnet waren – Telegrafie, Telefonie oder Funk.

Da sich Unterscheidungen zwischen a) und b) schwer treffen ließen, werden beide zusammen als generelle technisch/theoretische Arbeiten gezählt.

IV DIE »WIEDERENTDECKUNG« DES »HARTLEY-LAW«

1. L. ESPENSCHIED (BTL) AN W.C. WHITE (GENERAL ELECTRIC); 9.6.1949 (ESPENSCHIED C0LLECTION, SMITHSONIAN INSTITUTION WASHINGTON, D.C.)

(Auszug)

Dear Mr. White:

Being something of a technical historian, as are you, I have been looking up how there got started following the war our current flare of interest in the so-called theory of communication.

From Mr. Keith Henney of ELECTRONICS, I learned that the editorial which he wrote, in the June, 1945 issue of ELECTRONICS relative to Hartley's contribution, resulted from your own instigation. In fact, upon looking back at this editorial I see that he mentioned your name.

write to inquire what it was that caused you to recall the so-called Hartley law, bearing upon the interchangeability of the time and the frequency dimension in the transmission of intelligence, as given in his Lake Como paper of 1927 on the »Transmission of Information«.

What Hartley stated was, of course, well recognized here, but the principle lay rather dormant through the years until picked up by Gabor in England, and by you over here, and in turn given a fling by ELECTRONICS.

am wondering how it was that you discovered the Hartley statement, whether it was out of some technical advance of the time such as radar, or whether it was Gabor's reference to the Hartley paper that caused you to look it up and see in it a long neglected truth. As an addition to the technical history on this subject won't you please give me a little insight into your technical excitation on the subject? ..

(Lloyd Espenschied)

2. W.C. WHITE AN L ESPENSCHIED (16.6.1949)

(Auszug)

Dear Mr. Espenschied:

I was very much interested in your letter of the 9th on the origin of the so-called Hartley Law.

In the late 30's and early 40's, there was much discussion here, and probably in other laboratories active in electronics, on various systems of television involving color or better definition. Also, ideas were received at quite frequent intervals from outsiders proposing schemes for transmitting television programs in existing AM broadcasting channels. In nearly all discussions of this sort, at least once the relationship between the amount of information that could be transmitted and the bandwidth was brought up in one form or another. In each case, the speaker often required several sentences to identify this relationship.

I have always been interested in new words to describe very briefly some thing or thought which otherwise required considerable explanation. I felt that this frequency-time relationship should have such a name. Over the years, I discussed its origin with a number of people, and particularly with Keith Henney once or twice at the luncheons which preceded IRE Board meetings. We reached the conclusion, in 1944 I believe, that, altho the idea had been hinted at from time to time, Hartley probably was the first one to see it broadly, formulate it and publish it in a way that applied to electrical communication. I suggested to Keith that it might well be termed the »Hartley Law« and probably the name would be adopted quite rapidly. lt so happened that the two of us were on the IRE Awards Committee that year and, as I remember it, there was a unanimous feeling that Hartley's contribution was worthy of an Institute award. I believe this award was made in the early part of 1946.

(W.C. White)

V. DIE WISSENSCHAFTLICHE LAUFBAHN CLAUDE SHANNONS

> »I think he was the first person ever to build a machine to do absolutely nothing at all.« (T.C. Fry; 1977:2/732)[1183]

Shannon's Interessen waren nahezu gleichverteilt auf abstrakt theoretische und auf praktisch technische Probleme, ihn zeichneten

> »a gadgeteering and a mathematical side« (Pierce; 1977:1/784)

aus.[1184] In der wissenschaftlichen Laufbahn Shannon's gab es daher technisch wie theoretisch motivierte Übergänge bei der Inangriffnahme einander folgender Projekte.[1185]

Jahrgang 1916, studierte er bis 1936 an der University of Michigan Mathematik und Elektrotechnik und wechselte anschließend an das M.I.T. zum weiteren Studium derselben Fächer.

1. DAS DIFFERENTIAL ANALYZER PROGRAM

Das erste technische Entwicklungsprogramm, das von großem Einfluß auf Shannons weitere Entwicklung war, war der Differentialanalysator von Vannevar Bush. Dieser war bis in den Zweiten Weltkrieg hinein die wohl leistungsfähigste Rechenmaschine überhaupt – und generell der wichtigste Schritt in der Entwicklung analoger Recheninstrumente.[1186] Es stellte ein elektromechanisches Instrument für die Lösung von Integral- und Differentialgleichungen dar, für dessen Betrieb Shannon zwischen 1936 und 1938 am M.I.T. verantwortlich war.[1187]

Dieser Differentialanalysator und das Programm seiner weiteren Entwicklung waren von beträchtlichem Einfluß auf Servo- und Rechentechnik, aber auch auf die wissenschaftlichen Biographien einer ganzen Reihe von Wissenschaftlern des M.I.T. wie Vannevar Bush, Harold Hazen, Norbert Wiener, Claude Shannon, G.S. Brown u.a. Die letzten 4 waren sämtlich Consultants in der Sektion D des NDRC bis 1942.

[1183] Von dieser Maschine konnte sich der Autor (F.H.) selbst überzeugen: Ein Kasten mit Schalter, bei dessen Betätigung sich der Deckel des Kastens öffnet, ein Arm herausfährt, den Schalter wieder betätigt, sich in die Kiste zurückzieht, deren Deckel sich schließt.

[1184] Shannon selbst berichtete, daß er bereits in seiner Jugend Radio-Geräte und elektrische Geräte gebaut habe, »and also I liked mathematics«. (Shannon; 1977:1/5)

[1185] Zu den besonderen Leistungen Shannons zählt auch die »maze solving mouse«, öffentlich präsentiert von Shannon auf der 8. Macy-Konferenz; 15.-16.3.1951 über »Cybernetics – circular causal and feedback mechanisms in biological and social systems« in deren Proceedings (New York; 1952:173) als »Presentation of a mazesolving machine« vorgestellt.
Kurioserweise gelang es den BTL Technikern später nie wieder, eine Kopie dieses von Shannon in seinem eigenen Keller gebastelten Instrumentes (ein über Versuch-Irrtum aus einem Labyrinth herausfindende mechanische Maus) herzustellen. (MacMillan; 1977:2/1377)

[1186] Dessen Voraussetzung war die Entwicklung eines mechanischen Verstärkers, der 1927 von C.W. Niemann (von Bethlehem Steel Co.) entwickelt worden war, »Bethlehem Torque Amplifier« in American Machinist vol 66; 1927:859-897.
1931 entstand am MIT der erste Differentialanalysator (Goldstine; 1972:93)

[1187] Biografie in Ph.D. Thesis, MIT (1940:64)

Dieses Programm mit einigen seiner Folgeprogramme[1188] war direkte Ursache für den Transfer der genannten in den Problembereich der Feuerleitungs- und Servotechnik[1189] und es etablierte die Zusammenarbeit von Vannevar Bush und Warren Weaver – über die Finanzierung des Differentialanalysators durch die Rockefeller-Stiftung.[1190] Dieses Programm lief von 1927-1942 am M.I.T. insgesamt mit großem Erfolg.

> »perhaps it's only defect was that it committed – at least intellectual – the engineers at MIT to the analog point of view to the exclusion of the digital one for many years. This was of course subconscious but nonetheless present in the mind's of Bush's colleagues.« (Goldstine; 1972:91)

Dies galt vor allem für die Servotechnik/Feuerleitung/Signalanalyse – die auf diese Weise von der analogen Rechentechnik beeinflußt wurden bzw. diese wie jene von der Differentialgleichungsmathematik der Physik.

Anders war dies jedoch für Shannon, dessen technischer Ansatzpunkt für seine weitere Arbeit war ein Teilaspekt des Betriebes des Differentialana1ysators,

> »a very complex relay control system which was continuing in getting out of order and had to be repaired« (Shannon; 1977:1/60)

Dieses Relais-System war der Ausgangspunkt für Shannons Master-Thesis am Electrical Engineering Department des MIT, »A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits«, die 1938 veröffentlicht wurde. Darin benutzte Shannon erstmals die zweiwertige Boole'sche Algebra der Aussagenlogik zur Beschreibung des Aufbaus von Schaltnetzwerken. Diese Arbeit, »one of the most important master's thesis ever written« (Goldstine; 1972:119) repräsentierte

> »a landmark in that it helped to change digital circuit design from an art to a science«(Goldstine; 1972:119 f.).

Mit dieser Arbeit wurde Shannon (dann 22jährig) in einschlägigen Kreisen (wie z. B. dem BTL) sofort bekannt und zog die Aufmerksamkeit Vannevar Bush's mit dieser Arbeit auf sich, der in den folgenden Jahren als sein Mentor intensiv bemüht war, Shannon's Talent zu fördern und in die rechten Bahnen zu lenken. 1940 erhielt Shannon für diese Arbeit einen der höchsten Preise der amerikanischen Elektroingenieursvereinigung.

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit hatte Shannon bereits um 1936/37 Schaltkreise in Betrieb, die simple binäre Operationen ausführten.[1191] Noch 1939 beschäftigten ihn Überlegungen der Schaffung von Mechanismen für die Durchführung symbolischer (nicht numerischer) Operationen und befaßte er sich mit Versuchen, die Schaltalgebra auszudehnen »to other types of circuits, hydraulic, mechanical, optical etc.« (Shannon an Bush; 16.2.1939:2)[1192]

Insgesamt brachte ihn das Differentialanalysator-Programm in die drei weiteren Folgeprojekte:

- Die Schaltalgebra (1936-1938)

[1188] Wie z. B. dem Cinema Integraph, einem Analog-Instrument zur mathematischen Integration mit Hilfe von Filmprojektionen.
[1189] Als erster war G.S. Brown wegen seiner Servo-Theorie bereits seit 1939 mit der US Navy im Gegenstandsbereich der Feuerleitung im Kontakt. Entsprechende MIT-Ausbildungsprograrne für Navy-Offiziere folgten. (Wildes; 1971:5-10)
Der spätere Chef der Sparte »Feuerleitung« des NDRC, H.L. Hazen, hatte bei Vannevar Bush an Differential Analyzer und dessen einem Folgeprojekt, dem Cinema-Integraph gearbeitet:
»Bush encouraged Hazen to write a treatise on the theory and design of servomechanisms based on Hazen s research and knowledge in this field« (Wildes; 1971:5-9). Diese Arbeiten (Hazen; 1934 und 1934a) brachten Hazen bereits vor dem 2. Weltkrieg in das Gebiet der Feuerleitung (ebd.).
[1190] Wildes (1971:4-55)
[1191] Shannon (1977:1/120) und Brief in Anhang VI
[1192] Bush Collection (102:2401)

- den Rapid-Selector (1938)[1193]
- die Feuerleitung (1940/41).

2. THEORETISCHE GENETIK

Ab 1938 war Shannon Assistent am mathematischen Department des MIT – einer Position, die ihm außerordentlich gefiel, weil er dort an mehreren Projekten gleichzeitig arbeiten konnte.[1194] – Eine Arbeitsaufteilung, die später die Voraussetzung für die Integration der Methoden und Modelle verschiedener Gegenstandsbereiche in einheitlichen Theorien durch Shannon war (vgl. Abb.8).

Obwohl Shannon gelegentlich die Wiener'schen Vorlesungen in harmonischer Analysis an diesem Department gehört hatte, war er jedoch nie näher mit diesem in Berührung gekommen.[1195]

Shannon's Dissertation an diesem Department hatte die Entwicklung einer »Algebra for theoretical Genetics« zum Gegenstand. Sie entstand auf eine Anregung Vannevar Bush's hin[1196] in dem Eugenics Record 0ffice der Carnegie Institution (deren Präsident Bush war) in Cold Spring Harbor (N.Y.).

Das Argument für den Übergang in dieses völlig andere Gebiet war die identische theoretische Methode und deren Anwendung:

> »lt occured to me that just as a special algebra had worked well in his hands on the theory of relays, another special algebra might conceivably handle some of the aspects of Mendelian heredity.
>
> Accordingly I tossed the idea to him. At the time he did not even know what the words meant, and of course, at the present time has only a fragmentary knowledge of this aspect of genetics« (Bush an E.B. Wilson; 15.12. 1938)[1197]

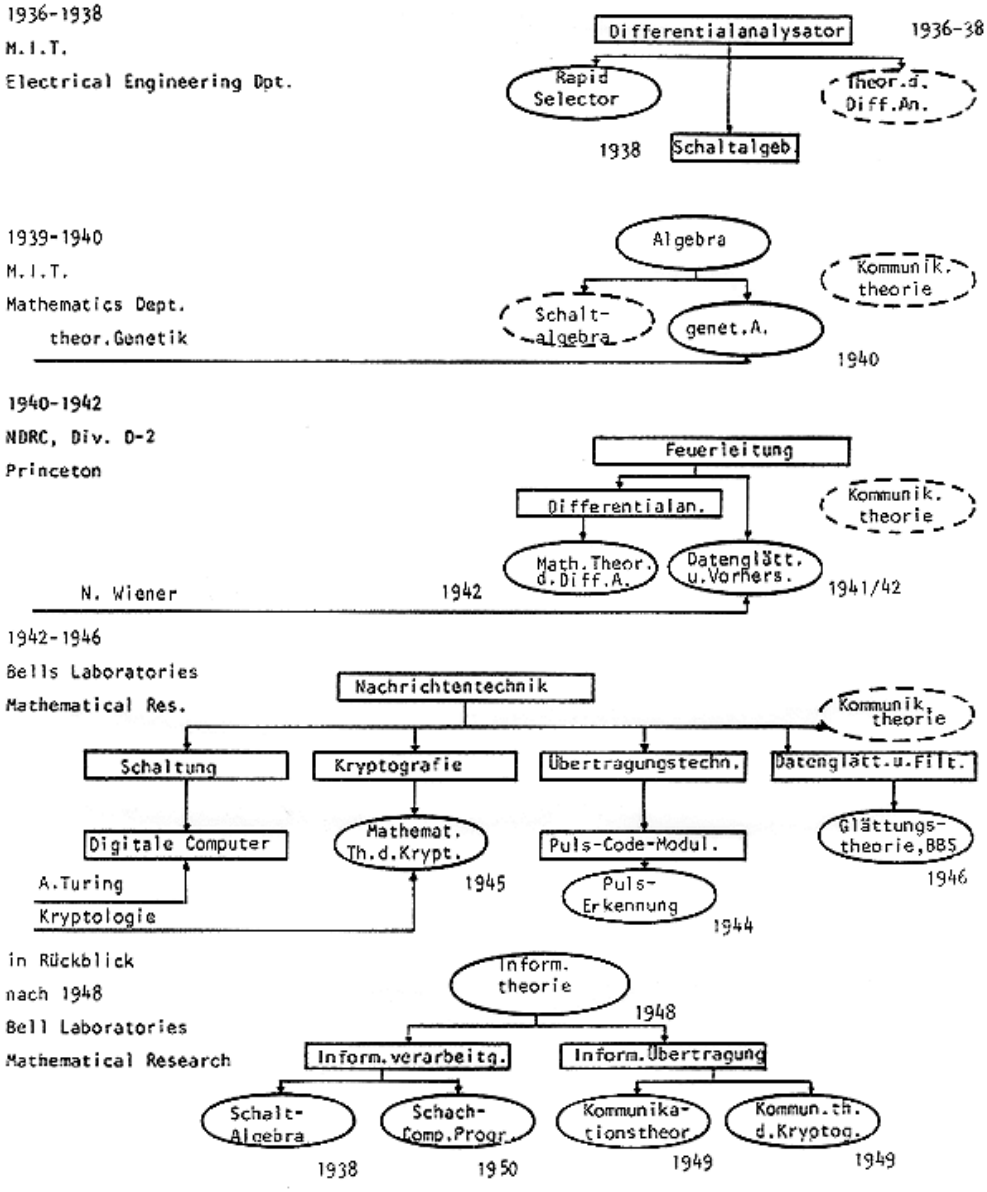
1940 war diese Arbeit abgeschlossen. Zu einer Publikation kam es jedoch wegen des Krieges und anderer Arbeiten Shannon's nie mehr. In der bereits seine ersten Arbeiten kennzeichnenden Form der axiomatischen Darlegung und Ableitung von Theoremen über Grenzbedingungen oder Existenzbedingungen der jeweiligen Prozesse oder Strukturen entwickelte er in dieser Arbeit einen speziellen ma-

---

[1193] Dabei handelte es sich um den 1936 von Vannevar Bush erstmals gemachten
Vorschlag, der Speicherung und Codierung bibliografischer Informationen (Abstracts) auf Filmmaterial (Wildes; 1971:5-39). Der Code sollte dabei alle notwendigen Angaben enthalten, um die Mechanik der Filmspulen in ihrem Ablauf so zu steuern, daß der gewünschte Abstrakt erhalten werden konnte und sollte gleichzeitig inhaltliche Elemente, alle »wesentlichen« Aspekte des Abstrakt codieren. So war der R.S. eine der Quellen quantitativer Referenz-Analyse (Wildes; 1971:5-45 f.). Dessen Entwicklung wurde im Sommer 1938 begonnen (Wildes; 1971:5-40) und, ebenso wie der Cinema Integraph, zunächst von Eastman Kodak (ebd.), dann von der Rockefeller Foundation über Weaver finanziert (T.C. Fry an V.Bush; 15.2.1940 – Bush Papers, LOC, 40:983).
In die Diskussion um dieses Gerät waren gelegentlich Weaver, Fry, von Neumann involviert (z. B. Weaver an von Neumann; 31.1.1940 – v.Neumann Papers, LOC:C4). Ein erstes Modell war 1930 fertiggestellt (Wildes; 1971:5-40). Ende 1940 schließlich wurde die Rapid-Selector Gruppe des MIT im Bereich der Kryptanalysis eingesetzt (Wildes; 1971:5:43).
Der Rapid Selector war wahrscheinlich das erste Projekt für Shannon, in dem Probleme der Codierung bereits eine wichtige Rolle spielten. Wie das weitere Schicksal der Gruppe während des Krieges zeigt, war eine solche Erfahrung eine der möglichen Voraussetzungen für den Einstieg in die Kryptologie – in die Shannon dann auch, 1942, ging.
[1194] an V. Bush (16.2.1939)
[1195] Shannon (1977:1/150) und ebenso Wiener (Autobiografie:149)
[1196] So auch Shannon (1977:1/200)
[1197] Bush Collection (102:2401)

thematischen Formalismus in Gestalt einer Algebra für die Beschreibung der Dynamik Mendel'scher Populationen.

ABBILDUNG 8: Shannons wissenschaftliche Laufbahn als Folge elementarer Forschungsorganisationen



Die inhaltliche Beurteilung einerseits und die Wirkung dieser Arbeit andererseits bieten einen wichtigen Gegenpart zu der Informationstheorie und ihrer Wirkung. Sie wies inhaltlich ähnliche Merkmale wie diese auf, eine entsprechende Rezipientengruppe in der Genetikergemeinschaft, wie sie nach dem Krieg in der *Nachrichtentechnik* bestanden hatte, existierte jedoch nicht.

Das Problem der Diskrepanz zwischen der theoretischen Methode Shannon's in dieser Arbeit einerseits und dem Stand der Methode in der wissenschaftlichen Gemeinschaft der Genetiker andererseits wurde bereits zu jener Zeit erkannt.

Nach Shannons späterem Urteil war die Reaktion der Genetiker auf diese Arbeit

> »Not great . .. And I think perhaps they are right. I don't think it was the greatest thing of work.« (Shannon; 1977/1:230)

Dies war jedoch, soweit sich aus den zeitgenössischen Urteilen der wenigen Genetiker, die auf ähnlichem abstrakten mathematischen Niveau zu arbeiten verstanden (und von denen Vannevar Bush einige Urteile einholte) ersehen läßt, keineswegs so. Diese zeigten sich eher begeistert.

Die inhaltlich positiven Urteile über Shannon's Theorie enthalten fast wörtlich einige der Attribute, die später der Informationstheorie zugeordnet wurden, wie »*the direct and concise way in which he developed the necessary theorems*« (L.J. Reed 9.4.1940).[1198] oder »*the directness with which he obtained some rather general relationships*« (Bush; 5.1.1939)[1199] und zeigte man sich »*quite enhusiastic*« (H.L. Dunn: 19.4.1940)[1200]

Das wichtigste und umfangreichste Gutachten für die erste Darlegung der Shannon'schen Überlegungen stellte Barbara S. Burks vom Eugenics Record Office in Cold Spring Harbor, wo Shannon dann 1939 die Arbeit fertigstellte.

Dieses Gutachten vom 20.1.1939 ist außerordentlich bedeutsam, da es deutlich macht, wo die besonderen individuellen Fähigkeiten Shannon's lagen, die man bei der Diskussion der allgemeinen Randbedingungen der Bildung der Informationstheorie im Auge behalten muß. Es ist im Anhang VI in einigen Auszügen wiedergegeben.

An dieser Stelle wichtigster Aspekt ist die dann bereits Anfang 1939 getroffene Feststellung

> »Perhaps he is one of the rare people who are really equipped to be ›interdisciplinary‹ scholars, and even to make distinguished contributions to several disciplines.« (Burks; 20.1.1939)

Neben der inhaltlichen Geschlossenheit und Eleganz seiner Analyse betonte sie (wie andere auch) jedoch bereits den Aspekt der möglichen Resonanz derartiger Methoden in der Fachgemeinschaft der Genetik.

Kein Zweifel bestehe, daß

> »Shannon's method's in genetics ... *with* their creator could attain some important results that now seem rather inaccessible« (Burks; 20.1.1939)

ohne diesen sei dies jedoch eher fraglich, denn, so ein anderer Gutachter, die meisten Genetiker seien

> »not well trained mathematicians and probably would prefer clumsier methods and would be frightened by the very conception of a different type of algebra from the ordinary« (E.B.Wilson; 3.1.1939).[1201]

Diese Situation war, wie bereits betont, sehr verschieden von der Nachkriegssituation in der *Nachrichtentechnik* und bot einen Grund dafür, nicht weiter in diesem Gebiet zu arbeiten.[1202]

[1198] an H.L. Dunn. Leiter des Dept. of Biostatistics der School of Hygiene and Public Health der Johns Hopkins Univ.
[1199] an B.S. Burks. Bush Collection (18:403)
[1200] an V. Bush, Bush Collection (102:2401)
[1201] an V. Bush, Bush Collection (120:2920). Harvard Univ., School of Public Health, Dept.of Vital Statistics.

Direkten weiteren Einfluß hatte die »genetische Algebra« nicht. Ein möglicher indirekter Einfluß mag gewesen sein, daß sie die Annäherung Shannon's an die bereits in der Kryptografie verwendeten Methoden (Algebra und Statistik) brachte – die ja ca. 20 Jahre zuvor durch einen anderen vormaligen theoretischen Genetiker mathematisiert worden war.[1203] b) Mit anderen Worten, sie erleichterte vielleicht Shannon's Übergang in diese oder verstärkte das Interesse daran.

3. ERSTE TÄTIGKEIT IN DEN BTL

Im Sommer 1940 trat Shannon einen »summer job« in der Abteilung für mathematische Forschung der BTL unter T.C. Fry an – zunächst im Gebiet des Entwurfes von Relais-Schaltkreisen. Dies war eine direkte Anknüpfung an seine Schaltalgebra von 1938:

> »I got quite a kick when I found out that the labs are actually using the relay algebra in design work and attribute a couple of new circuit designs to it.« (Shannon; 5.6.1940)[1204]

Während dieser Zeit arbeitete er besonders eng mit George Stibitz zusammen, der unabhängig auf der Basis von Telefon-Schaltrelais erste Relais-Rechenwerke entwickelt hatte,[1205] die unter den allerersten elektrischen Digitalrechnern überhaupt waren.

Dabei war Shannon's Arbeit von 1938 eine große theoretische Leitlinie.[1206] Diese Tätigkeit und seine fundamentale Schaltalgebra fielen dabei gerade in eine Phase, in der man in den Bell Laboratories, wie der AT&T generell, sich auf eine umfassende und tiefgreifende Inangriffnahme des Problems der automatischen Schaltung zu konzentrieren begonnen hatte.[1207]

[1202] Den Briefen an Bush mit der Analyse der methodischen Situation in der theoretischen Genetik folgte ein Briefwechsel zwischen Bush und Shannon, in dem beide darin übereinstimmten, daß auf diesem Gebiet weiterzuarbeiten nicht sinnvoll sei (Shannon an Bush; 8.3.1940:3 – Bush Papers, LOC, 102:2401)

[1203] siehe Hauptteil III.4.3.1

[1204] an V. Bush, Bush Collection (102:2401)

[1205] Dies geht aus Shannons Notebook hervor (BAA Case 20379, Notebook T-2977, 1940). Ein Problembereich, mit dem er es hier zu tun hatte, war u.a. die Codierung der Schaltimpulse zur Fehlererkennung.
Zum Stibitz-Computer, der bereits 1940 eingesetzt worden war, G.R. Stibitz, J.A. Larrivee (1957). Vergl. auch Fagen; 1978:166 ff.).
Über die Zusammenarbeit Shannon-Stibitz berichteten auch alle interviewten BTL-Mitarbeiter der Zeit, einschließlich Shannon.

[1206] Anderswo, wie auch Stibitz selbst bereits vor Erscheinen der Shannonschen Arbeit von 1938 (er hatte 1937 mit den ersten Arbeiten zu dem Relais-Computer begonnen), hatte man sich eine hinreichende ›lokale‹ Methode zurechtgebastelt.
So z. B. die »Allgemeine Dyadik« Konrad Zuse's in Deutschland, Zuse (1970:68 f.). Literaturangaben zu weiteren frühen Arbeiten zur Theorie der Schaltungen finden sich in Steinbuch (1967:143)

[1207] 1935 stellte 0.B. Blackwell (BTL-Vizepräs.) in einem interne BTL-Memorandum fest, daß mit der Integration von AT&T, D&R Department und BTL der Aufgabenbereich der Schaltung zu kurz gekommen sei und schrieb:
»The amount of switching considered fundamental and charged to the AT&T is out of line as compared to the transmission charges to the AT&T and the relative importance of the two subjects ... While machine switching started outside the Bell System in this country, there appears now to be little outside fundamental acitivty along switching lines.« (Blackwell; 1935 (M):2)
Im Jahresbericht der AT&T von 1936 hieß es dann, das Problem der automatischen Schaltung würde »pushed vigorously« (AT&T; 1936:8).

4 DIE KRIEGSFORSCHUNG

Im Herbst 1940 trat Shannon die bereits 1939 betriebene National Research Fellowship am Institute for Advanced Study in Princeton an (unter H.Weyl). Nach längerer Unsicherheit über den dortigen Arbeitsgegenstand hatte er schließlich

> »mathematical genetics work from point of view of algebraic theory« (Shannon; 15.12.1939) [1208]

gewählt, wenngleich er tatsächlich dort dann wohl eher an seiner Idee einer allgemeinen Theorie der Kommunikation gearbeitet hatte.[1209] In der Kriegszeit währte diese Tätigkeit, für die sich Shannon als Mathematiker beworben hatte,[1210]

> »and under which he was in the process of being a pure topologist« (Weaver; 24.10.1949)[1211],

jedoch nicht lange. Bereits im November 1940 beantragte Warren Weaver die Freistellung Shannons, um im Gebiet von »mathematical studies relating to fire control« (Weaver; 1.11.1940) [1212] zu arbeiten. Grund für die Engagierung Shannon's in diesem Bereich war seine

> »experience as an assistant on the Differential Analyzer Project at the Massachusetts Institute of Technology« (Weaver; 1.11.1940)

und die Tatsache, daß er von allen Personen mit vergleichbarer Erfahrung die größten mathematischen Fähigkeiten mitbrächte.[1213] Das Programm für Shannon umfaßte dabei:

> »analytic theory of director schematics; theory of stability of systems of servomechanisms; exploration of use of all possible coordinate systems in prediction problems, approximations involved in various formulations of prediction formulae; analytical theory of power tracking; analysis of stability considerations in lead computing sights« (Antrag; 1.11.1940)[1214]

Dieses Programm trug bereits die Züge des D-2-Programms zur Automatisierung der Feuerleitung, war von der M-9 Entwicklung beeinflußt. Zu eben dieser Zeit hatte Wiener bereits seinen ersten Vorschlag unterbreitet.[1215]

Innerhalb dieses Programms arbeitete Shannon zunächst mit dem Differentialanalysator der Universität von Pennsylvania (Philadelphia) und verfaßte im Zusammenhang damit eine Reihe von Memoranda[1216] und eine »Mathematical Theory of the Differential Analyzer« (1942). Eins dieser Memoranda

---

[1208] an V. Bush, Bush Collection (102:2401)
[1209] Shannon (1977:1/270)
[1210] so Shannon an Bush; 15.12.1939, »applying as a mathematician« Bush an Shannon; 7.6.1940, »you are primarily an applied mathematician« (Bush Papers, LOC, 102:2401)
[1211] so Shannon an Bush; 15.12.1939, »applying as a mathematician« Bush an Shannon; 7.6.1940, »you are primarily an applied mathematician« (Bush Papers, LOC, 102:2401)
[1212] an V. Bush, Bush Collection (117:2801/2)
[1213] W. Weaver an R.G. Harrison; 1.11.1940, NAA 227, OSRD, Proj.7, Contract NDRC-105 Princeton
[1214] »Project recommended for Appropriation«, Quelle wie in 47)
[1215] vgl. Anmerkung in Teil III.3.3
[1216] Diese waren:
»Some experimental results on the deflection mechanism«, Princeton University 26.6.1941 »Backlash in Overdamped Systems«, »Theory of Linear Differential and smoothing Operators«, Princeton U.; 8.6.1941 »A Hight Data Smoothing Mechanism«, 26.5.1941 »The Theory and Design of Linear Differential Equation Machines«, Bell Telephone Laboratories; Jan. 1942

enthielt bereits eine – unabhängig von Wiener – entwickelte Theorie der Datenglättung, die zu jener Zeit bereits oft mit der Wieners im Zusammenhang gesehen wurde.[1217]

1941 trat Shannon – zunächst im Rahmen dieses Programms – in die Bell Laboratories über (Mathematische Forschung),[1218] wendete sich jedoch dort, in Zusammenarbeit mit Blackman, und Bode dem M-9-Folgeprogramm der Filter- und Netzwerktheoretischen Analyse des Glättungs- und Vorhersageproblems zu.

Im Ergebnis erschien 1946 der Report »Data Smoothing and Prediction in FireControl Systems«, der sowohl dem nachrichtentechnisch/geometrischen Ansatz von Bode, Blackman und Shannon, wie auch eine von diesen Autoren vereinfachte Darstellung des Wiener'schen statistischen Ansatzes enthielt.

1942 jedoch wechselte Shannon in das Gebiet der Kryptografie. Voraussetzungen unterschiedlicher Ebenen spielten dabei eine Rolle. Zunächst schien ihn dieser Bereich mehr interessiert zu haben, als das Feuerleitungsproblem[1219] – sicher lag er ihm in der Methode näher, als ein eher *algebraisch* dominierter Bereich. Zudem war eine der Voraussetzungen die Aktivität der Bell Laboratories in technisch-kryptografischen Programmen, in deren Zusammenhang z. B. auch H. Nyquist (Telegrafentheorie; 1928) arbeitete.[1220]

Mit aller Wahrscheinlichkeit suchte sich Shannon unter den in den BTL möglichen Projekten, die ihm am besten passenden aus – d. h. hier den Bereich der Kryptografie.[1221]

An technischen Entwicklungs selbst arbeitete er nicht, stand aber mit diesen in Kontakt.[1222] Einen Teil seiner Arbeit als Konsultant des Signal Intelligence Service[1223] konnte er in dieser Zeit zu Hause leisten.[1224]

Während dieser Zeit hatte er 1942 engsten Kontakt mit Alan Turing, dem wohl wichtigsten theoretischen Wegbereiter der modernen Rechenautomaten,[1225] der als einer der britischen Entzifferungsexperten sich dann in den BTL aufhielt.[1226] Die Kooperation Shannon's und Turing's erstreckte sich auf Kryptografie, Probleme der Automatenentwicklung und der Nachrichtentheorie:

> »They never stopped talking about information theory« (Riordan; 1977:1/819)

erinnerte sich ein ehemaliger enger Mitarbeiter. Einzelheiten dieser Zusammenarbeit liegen noch heute etwas in dem Dunkel, das das gesamte Gebiet der Kryptografie umgibt und können daher nicht weiterverfolgt werden.

[1217] So z. B. durch Weiss (15.1.1942 an Weaver, NAA si), einem Ingenieur des Küstenartillerie-Board, der die vollen Analysen des Glättungsproblems von Shannon und Wiener anforderte, aber auch in dem offiziellen Verzeichnis, »Summary Technical Report of NDRC – Microfilm Index« von V. Bush und J.B. Conant, Washington (1946) – wo unter »Smoothing and Smoothers, Theory« lediglich das dritte der oben genannten Shannon Memoranda und drei Memoranda von Wiener verzeichnet sind.
[1218] Shannon (1977:1/300), ebenso Verzeichnis der BTL-Math.Res. Mitarbeiter (1922-1956, BAA)
[1219] So erinnerte sich Bode (1977:2/200)
[1220] so berichtete Riordan (1977:1/740)
[1221] Dabei sei daran erinnert, daß Algebra, digitale Schaltungs- und Codierungsprobleme (Rapid Selector und Stibitz-Computer) ihm bereits einen Anknüpfungspunkt dafür boten.
[1222] Er war nicht direkt an der (kryptografisch motivierten) PCM-Entwicklung um Black beteiligt (Bennett; 1977:1/849), hatte jedoch zu den Techniken der Sprachmischung etc. Kontakte. Vergl. Abschnitt III.4.1.3
[1223] Riordan (1977:1/535) und Shannon (1977:1/620)
[1224] Shannon (1977:2/500)
[1225] mit seiner klassischen Arbeit, »On computable numbers«, Proc. London Math. Soc., ser.2, 42; 1936:230-265
[1226] Gegenstand der Arbeit war die Herstellung einer technisch und strukturell kryptografisch sicheren Sprechverbindung zwischen Roosevelt und Churchill. Shannon (19771/690) wie auch John Riordan bestätigten diese Zusammenarbeit, von der ansonsten kaum jemand in den BTL wußte.

Insgesamt beschäftigte er sich zwischen 1942 und 1945 mit Problemen aus Kryptografie, Rechentechnik, Datenglättung, Kommunikationstheorie und Puls-Kommunikationstechniken,[1227] Problembereichen und Gegenstandsbereichen, die direkt F+E-Programmen der BTL im Krieg entsprachen.

5. DIE WISSENSCHAFTLICHE BIOGRAFIE

Diese zum großen Teil allgemein bislang unbekannten biographischen Details erlauben es, die wissenschaftlichen Aktivitäten Shannons zu unterschiedlichen Zeiten als eine *Folge elementarer Forschungsorganisationen* darzustellen. Dies wird in der Übersicht in Abbildung 8 unternommen. Dabei stehen die die meisten Teile seiner Forschungsaktivitäten integrierenden Forschungs- oder Entwicklungsprogramme oben. Technische Programme, an denen er arbeitete, sind rechteckig, theoretische oval umrandet. Gestrichelte Umrandungen deuten Beschäftigung mit einem Gebiet aber ohne Veröffentlichung im genannten Zeitraum an. Zur Seite sind die Bereiche herausgezogen, die wichtige neue theoretische Einflüsse brachten.

Diese Darstellung macht Verschiedenes noch einmal deutlich:

-die *zeitliche* Dauer seines Projektes einer grundlegenden Theorie der Kommunikation und dessen *jeweils unterschiedliche Einordnung;*

- den Beginn der umfassenden nachrichtentechnischen Einordnung seiner Vorhaben erst mit Beginn der BTL-Tätigkeit. Bereits um 1939-40 hatte sich ein theoretisch definiertes Arbeitsprogramm etabliert, Shannon sich als Mathematiker verstanden, und es hätte an dieser Stelle durchaus ein anderer Verlauf möglich sein können. Die BTL-Tätigkeit brachte die *größte Diversität von Einflüssen* aus dem Bereich der Nachrichtentechnik in 1942-1946.

- Schließlich, nach 1948 die Schaffung eines *einheitlichen theoretisch definierten Programms*, das auch die nachträgliche Sicht der wissenschaftlichen Biographie insgesamt veränderte – gewissermaßen eine »Adjustierung des Lebenswerkes« darstellte. Dieses (wohlgeordnete) Programm sollte im wesentlichen dann den Rahmen von Shannon’s weiteren Arbeiten abgeben. Danach waren die Forschungsbedingungen für Shannon derart, daß ihn externe, nicht in dieses Programm gehörende Gegenstands- oder Problembereiche nicht mehr unbedingt zu beschäftigen brauchten.

Man kann dies so ausdrücken, daß sich nach 1948 sein *individuelles Forschungsprogramm stabilisiert* und – in gewisser Weise auch – *abgeschlossen* hatte. Typisch dafür ist die folgende, von B. Oliver, einem engen Mitarbeiter Shannons in der Nachkriegszeit in den BTL erinnerte Äußerung: man fragte ihn,

> »after his paper was out ‚What are you going to do now, Claude « and he said (somewhat cynically) »Nothing, I've done everything I've got to do. People are going to ask me to do further things, but in a sense he was right. lt would have been nearly impossible to follow his paper with anything equaliy significant.« (OLiver; 1977:1/420)

[1227] So erinnert sich z. B. Oliver (1977;2/300) an viele Gespräche über Kryptografie, PCM, Vernam System der Telegrafischen Vercodung. Ebenso auch Shannon selbst, der besonders die 3 Gebiete Feuerleitung (Datenglättung), Computer (Stibitz, Turing) und Kryptografie hervorhebt (1977.1/420). Siehe auch das in III.4.3.2 erwähnte Memo Shannons. Vergl. dazu die Abbildung 8

Wie für die Entstehung der Informationstheorie überhaupt, so waren auch für die Einhaltung dieses Shannon'schen Forschungsprogramms, dem sich ja viele Wissenschaftler anschlossen, die besonderen Forschungsbedingungen der Mathematischen Forschung in den BTL ausschlaggebend.

6. PERSÖNLICHE CHARAKTERISTIKA

Die Fähigkeit zur Aufrechterhaltung langandauernder Forschungsziele war eine Voraussetzung zur tiefergreifenden theorieorientierten Integration von Konzepten verschiedener Problembereiche. Dies wurde oben an Shannon's Beispiel deutlich.

Ihre andere Seite war die damit verbundene Fähigkeit, nicht auf dieser Linie liegende Projekte oder Probleme zu ignorieren, extrem selektiv Probleme zu erkennen bzw. Projekte zu bearbeiten. Diese Eigenschaft fand sich sowohl bei Shannon als auch in weit bekannterer Form bei Norbert Wiener.

Wie Shannon daher später in seinem – nie veröffentlichten – theoretischen Modell des Börsenmarktes auf einen Ausdruck ähnlich dem für die Übertragung eines gestörten Kanals der Nachrichtenübertragung stieß,[1228] war es bei Wiener wenig überraschend, daß ihn die Analyse des Feuerleitungsproblems auf eine Integralgleichung als Lösung eines Variationsproblems führte:

> »Für mich war das ein Glück, denn Integralgleichungen gehörten zu meinem eigentlichen Interessengebiet. Noch glücklicher traf es sich allerdings, daß gerade jene Integralgleichung, zu der das Problem führt, eine geringfügige Erweiterung der Gleichung ist, die Eberhard Hopf und ich untersucht hatten.« (Wiener, Autobiografie:200)

Die *Lösung* existierte lange vor dem *Problem*:[1229]

> »The mathematical problem of prediction as he formulated it was solvable by a synthesis of his own previous work. He could have handled it readily any time after 1931, had he conceived of the problem.« (Levinson; 1966:26)

Am meisten wird man diesem Phänomen gerecht, indem man es als ein *Kombinationsphänomen* begreift, eins der Überlagerung verschiedener Forschungsprogramme oder -organisationen.

In anderer Hinsicht machte sich jedoch die Eigenschaft der selektiven Problemerkennung, gebunden an die von dem Autor beherrschte Methode bzw. an die Linie seines langfristigen Forschungsprogramms durchaus störend bemerkbar.

Warren Weaver, Chef des Applied Mathematics Paneel erinnerte sich zu Wieners Arbeit in dieser Gruppe:[1230]

[1228] Eine Beziehung, die aussage, wie schnell man in einem derartigen System sein Geld macht (Shannon; 1977:4/520)

[1229] Dies entgegen der Legende, die eine Entstehung nach dem Muster Gegenstand-Problem-Verallgemeinerung-Theorie annimmt – wie z. B. T.C. Fry, der über die Vorhersagetheorie Wieners bemerkte: »He begins searching for the elements, the fundamental element in this thing, and then he begins to generalize. And the first thing, the gyroscopic sight has fainted into a small point in a big universe of theory« (Fry; 1977:3/153). Tatsächlich bestand das »Universum an Theorie« zuerst, dann wurden mögliche Anwendungen gesucht.

[1230] Dies ist keine ex-post Interpretation Weavers, da ähnliche Klagen von ihm auch aus dem Jahr 1944 vorliegen (Weaver; 1944:1, NAA W1) (Hervorhebung – F.H.)

»He was a genius, but he was not a good member of our group. He *wouldn't work on things that we would ask him to do*. Norbert simply wasn't a reasonable enough person, to play a useful role in general discussions... The only thing – once in a while, when we'd get a very difficult problem that I would feel is essentially mathematical in nature – I'd go to him and describe it and I'd say to him

›Norbert, can you do something about that?‹. Now, what he usually would say is, ›*1 have already solved it. lt's all solved. lt's in a paper that 1 wrote nine years ago*‹. And he'd get his paper out and show it to me. And I'd say, ›The answer is in this paper?‹ And I'd take the paper off and show it to some of my mathematical friends and they would say, ›Well, if the answer is in this paper, we can't find it‹« (Weaver; 1977:1/179)

Ebenso war Wieners MIT-Kurs in harmonischer Analysis durch diese Eigenschaft geprägt. Ein früherer Student Wieners berichtet:

»His course was very interesting, but it was dominated by his own personal theorems. He talked about the Wiener-Tauberian theorem, the Wiener-prime-number theorem and the Wiener this and the Wiener that ... He made a whole course out of just his own theorems.« (Gilbert; 1977:1/60).

Weithin bekannt und ebenfalls mit dieser Eigenschaft verbunden ist, daß Wiener »never read any papers« (McMillan; 1977:3/675) [1231], was nicht hieß, daß er sie nicht gelesen hatte, sondern daß er lediglich die Aspekte wahrnahm, die zu seiner eigenen Arbeit in irgendeiner Beziehung standen.[1232]

Viel weniger bekannt ist jedoch die Tatsache, daß auch Shannon, wenn auch in vielleicht weniger legendärem Ausmaß, diese Eigenschaften zu eigen waren. Auch er

»read his own work and not too much of anybody elses« (Slepian;177:1/1340)[1233]

Ähnlich wie bei Wiener gab es auch bei Shannon in dieser Anfangszeit in den Bell Laboratories einige Kritik in dieser Hinsicht:

»Not all of the members of the mathematicaL research department thought that he was a good contributor. Some fet that they did not get much help from consulting him about their own problems.« (Bennett; 1977:2/625)

Der springende Punkt war nicht, daß derartige Kritik auftauchte, sondern daß sie keine allzu bedeutende Rolle mehr spielte, in einer Forschungseinheit, deren erklärtes Ziel die Integration von Außenseitern in die industrielle Forschung war.

Ein ehemaliger Kollege Shannons in der Mathematischen Forschung der BTL und einer der ersten weiteren Informationstheoretiker sagte dazu:

»He was unique. He was in a very sympathetic organization. I can imagine that had Shannon been in the wrong part of Bell Laboratories ... he would have appeared at the bottom of the scale.« (McMillan; 1977:2/625)

[1231] So z. B. auch Wiener's Biograf N. Levinson (1966:30):
»Indeed Wiener was largely unfamiliar with the mathematical work of some of the mathematicians he admired very much«.
[1232] So auch Riordan (1977:2/106) oder Pierce (1973) in der Diskussion der Wiener'schen Besprechung der Shannon'schen MTC.
Ebenso erinnert sich McMillan an eine völlig unzutreffende Darstellung Wieners der Shannon'schen MTC (McMillan; 1977:3/600). Die besondere Kompetenz Shannon's für Informationstheorie und Kybernetik erkannte Wiener aber stets an, und es gibt eine Reihe von Fällen, wo er Interessenten an Shannon verwies (und diesem so z. B. die Abfassung der Enzyklopedia Britannica-Artikel über »Kybernetik« und »Informationstheorie« vermittelte) (Wiener Papers, M.I.T.)
[1233] So auch Riordan (1977:1/328) (»He didn't read anybody«)

Probleme gab es, so z. B. zu Beginn mit seiner Absicht, Hartley's Theorie weiterzuentwickeln,[1234] oder mit seiner späteren Theorie der Programmierung eines schachspielenden Computers,[1235] Probleme, die zu weit ab zu liegen schienen:

> »He was somewhat difficut to control. He did not show great enthusiasm for some of the problems which the management recommended to him as important.« (Bennett; 1977:1/555)

So arbeitete er von Beginn an relativ oft zu Hause.[1236]

Er war auch zu Beginn (1940) skeptisch gewesen, in ein industrielles Unternehmen zu gehen, obwohl er dies doch einem »Teaching job« vorzog.[1237] Zunächst hatte er es vorgezogen, in Princeton in eine vollständig freie Forschungsumgebung einzutreten. Auch Vannevar Bush hatte ihm dazu geraten:

> »The Bell Laboratories are fine, and they restrict their mathematical group very little indeed, considering that they are a commercial organization. Nevertheless I feel that you ought to be in some place where you can follow your own inclinations to a very considerable extent for some time longer.« (Bush; 11.3.1940)[1238]

Seine weitere Konfrontation mit externen konkreten technischen Programmen im Laufe der Kriegs- und BTL-Forschung war jedoch gerade eine wichtige Voraussetzung für die Entstehung der Informationstheorie, wie sie heute existiert.

[1234] Bennett (1977:1/555)
[1235] Riordan (1977:1/1046): Es stellte sich die Frage für die AT&T, ob es sinnvoll sei, »spending money on such a foolish thing as a chess game«
[1236] Bennett (1977:1/571)
[1237] Shannon an Bush; 8.3.1940 (Bush Papers, LOC, 102:2401)
»T.C. Fry of Bell Labs has suggested that they may have a job for me if want it. But I am not at all sure that that sort of work would appeal to me, for there is bound to be some restrained in an industrial organization as to type of research.«
[1238] an Shannon, Bush Collection (119:2880)

VI SHANNON'S FRÜHE ARBEITEN IN GENETIK UND NACHRICHTENTHEORIE

1. ERSTER ANSATZ ZUR ENTWICKLUNG EINES ALLGEMEINEN KOMMUNIKATIONSMODELLS

BRIEF AN VANNEVAR BUSH; 15.2.1939. AUSZUG

(BUSH-C0LLECTION, LIBRARY OF CONGRESS, WASHINGTON, D.C.)

Dear Dr. Bush,

0ff and on I have been working on an analysis of some of the fundamental properties of general systems for the transmission of intelligence, including telephony, radio, television, telegraphy etc. Practically all systems of communication, may be thrown into the following general form:

$$f_1(t) \rightarrow [T] \rightarrow F(t) \rightarrow [R] \rightarrow f_2(t)$$

$f_1(t)$ is a general function of time (arbitrary except for certain frequency limitations) representing the intelligence to be transmitted. lt represents for example the pressure-time function in radio and telephony, or the voltage-time curve output of an iconoscope in television.

T is a transmission element which operates on $f_1(t)$ through modulation, distortion etc. to give a new function of time F(t), which is actually transmitted. F(t) in radio and television is the electromagnetic wave sent out by the transmitter, and in general need not be at all similar to $f_1(t)$, although, of course, they are closely related. I consider T to be a mathematical operator which transforms f_1 into F, thus $F(t) = T[f_1(t)]$.

F(t) enters the receiving element R and is there transformed into a third function of time $f_2(t)$ which should be as closely similar to $f_1(t)$ as possible. In an ideal system it would be an exact replica. A fundamental theorem on the subject, which so far as I can determine has not been rigorously proved before is that there is no system of communication of this type which will transmit an arbitrary f_1 with absolute fidelity without using an infinite frequency spectrum for the intermediate function F. This fact necessitates the mathematical definition of what we should call the »distortion« between two functions f_1 and f_2 that can be applied to any functions for since we never can reach perfection we must have some measure how far away we are. Previous definitions are entirely inadequate, for example percent harmonic distortion can only be applied when f_1 is a pure sine wave lasting forever, and entirely neglects other types of distortion.

propose the following as a definition of »distortion«: $D(f_1,f_2)$ between any two functions of time f_1 and f_2

$$D(f_1, f_2) = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{f_1(t)}{A} - \frac{f_2(t)}{B} \right]^2 \cdot dt}$$

where $A = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} [\, f_a(t)]^2 \cdot dt}$ and $B = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} [\, f_b(t)]^2 \cdot dt}$.

This rather wicked looking formula is really a kind of root-mean-square error between the functions after they have been reduced by the factors A and B, so that they contain the same energy. lt possesses several useful properties, if the only distortion is harmonic distortion of a small amount this formula gives the percent harmonic distortion according to the useful fo rmula.

Also, if f_2 is exactly like f_1 except for a small amount of random noise (e.g. static) the formula gives the percent of the random noise which has been found experimentally to measure the psychological distortion. In speech transmission we might think that a better measure of distortion would be found by taking the root-mean-square-error in the frequency spectrum of f_1 and f_2 Actually it can be shown that the two results will always be the same, though that although the ear operates on a frequency basis and the eye (television or facsimile) on an absolute value basis we can use the same measure for distortion.

With this definition I have been trying to proof the following theorem, for any operators T,R the length of an arbitrary message f_1 multiplied by its essential spectrum and divided by the distortion of the system is less than a certain constant times the time of transmission of F multiplied by its essential spectrum width or – roughly speaking – it is impossible to reduce bandwidth times transmission time for a given distortion.

This seems to be true although I do not have a general proof as yet (I can proof it for certain types of operators T).

The idea is quite old both Hartley and Carson have made statements of this type without rigid mathematical specifications or proof. lt is by no means obvious however, you might think of a transmitting element T which made a Fourier spectrum analysis of the input wava f_1 divided each frequency component by ten, combined these new frequencies to give a function F using a band only one tenth as wide and transmitted the function. R would perform the reverse operation.

Such a system would be used to reduce the bandwidth of television signals for instance. This particular system has a theoretical fallacy, but I am not sure that all such systems do.

There are several other theorems at the foundations of communication engineering which have not been thoroughly investigated.

Of course, my main project is still the machine for performing symbolic mathematical Operations; although I have made some progress in various outskirts of the problem I am still pretty much in the woods, so far as actual results are concerned and so can’t tell you much about it. I have a set of circuits drawn up which actually will perform symbolic differentiation and integration on most functions, but the method is not quite general or natural enough to be perfectly satisfactory. Some of the general philosophy underlying the machine seems to evade me completely. ...

(Claude Shannon)

2. DIE BEWERTUNG DER »GENETISCHEN ALGEBRA«

(Auszug aus einem Brief von Barbara Burks (Eugenics Record 0ff ice, Cold Spring Harbor) an V. Bush; 20.1.1939. Bush Collection (18:403))

Dear Mr. Bush:

When one rereads Shannon's paper the impression of clarity of thought and imaginative scope is if possible intensified.

The only parallels that come to my mind of a young person plunging into a completely new domain of science, quickly mastering the essential concepts, and returning with a fresh and valuable yield, are a few examples from biography, e.g. young Pascal inventing Euclidean geometry at 12, and a calculation machine at 19; Brougham anticipating the principle of photography at the age of 17.

To adivse a youth like Shannon is difficult, is it not? Though probably none of the gifted young people who came to our attentions at Stanford during the course of Terman's investigations were quite as creative as Shannon, we did have young scientists who were able and versatile. We felt that the best »guidance« we could give them was to make them aware of the various possibilities that lay open to them and to help them to obtain graduate assistantships that would permit a maximum of research and a minimum of routine.

When a person has a mind that can cut through a system of facts new to him as Shannon has done, see ways of extending the theoretical structure, and envisage new problems, perhaps early specialization in one field (outside of his major interest in mathematics) would cramp him. Perhaps he is one of the rare people who are really equipped to be »interdisciplinary« scholars, and even to make distinguished contributions to several disciplines. The Stanford biographical studies of the early development of man of genius (by Terman, Cox, White) showed that eminent men are typically versatile, frequently showing superior attainment in seven or eight fields outside their major work.

With regard to the possibilities of Shannon's methods in genetics, I can hardly doubt that the methods with their creator could attain some important results that now seem rather inaccessible. lt seems curious how few scientists are ever able to apply creatively a new and unconventional method furnished by some one else – at least of their own generation – even when the method is accepted as valid and understood fairly widely. Sewall Wright, for example, has done some brilliant work on systems of mating with his path coefficient method, but few others have been able to use the method in any but simple, obvious ways.

To prepare the paper for publication I think Shannon will need to put it in a setting. Many of the results are not new (although some of them are – e.g. his »breeding factor« and sequelae). But even the results that are old are usually given with an economy and elegance that warrant their restatement. E.g. no one has ever formulated the conditions of equilibrium so crisply before $\left(\lambda^2 = \lambda^3 = \lambda^4 = \ldots = \lambda^n\right)$. Besides, the several parts of the system as a whole are so interdependent that one would not want to exclude any part, no matter how often it had been presented in other ways. On the whole his statements regarding Mendelian transmission are adequate and do not betray the unfamiliarity with which he started. He should, however, look up the term »inbreeding« which is used in a different sense from that in which he employes it

There are at least two first-rate problems that Shannon might like the adventure of tackling – both being in great need of development, especially the second. The first is to identify the system of mating and selection leading up to a given population of unspecified ancestry. (See re-

ference to Haldane’s 1938 article). The second (on which I have made a small beginning – and I would be only too glad to enlist Shannon's interest in it –) is to identify the specific genes in a multidetermined trait through linkage relationships with other simpler traits. (See reference to articles by Lindstrom, Green, Burks, including reprint enclosed)

If Shannon should become so interested in theoretical genetics that he would like to consider it as at least one of the several frontiers that he could probably push back, I would be very happy to meet and talk with him sometime. Thank you for sending me the manuscript and for letting me have a part in »discovering« Shannon.

Yours very sincerely,

(Barbara S. Burks)

VII. ZAHLENWERTE ZU DEN DIAGRAMMEN

1. ZU DIAGRAMM II.1

Die Teilnehmerländer am internationalen Kongress der Fernmeldetechniker, 1927 in Como, Italien
(Q.:Verzeichnis der Vorträge EFD; Okt. 1927:107)

Land	Teilnehmerzahl	Anteil a.d. Zahl * d. Weltfernsprecher	Entfernung (km) Como-Hauptstadt	Entfernung x Teilnehmer-zahl
Deutsch-land	14	9,08%	780	10.900
USA	5	59,77/%	6480**	32.400
Großbritan-nien	3	5,27%	900	3.600
Frankreich	3	2,85%	600	1.800
Italien	4	0,95%	-	-
Schweden	1	1,5l%	1600	1.600
Tsche-chowslow.	1	0,4%	600	600

*) Q :Weltfernsprechstatistik 1927 in EFD 14; 1929:269 f.
**) für die USA die Entfernung Como-New York

2. ZU DIAGRAMM II.4

Kumulative Zahl der Publikationen - aus Science Abstracts, Ser.B:

	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928
Telegrafie	18	44	70	103	136	190	229	271
Telefonie	22	52	115	223	329	461	605	753
Funk	184	343	577	842	1125	1443	1838	2254

aus JBET und Ztschr.sch.TRA (bzw. RPZ, bzw. Schr.sch.RPF)

	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927
Telegrafie	79	306	533	701	826	988	1071	1233
Telefonie	90	246	496	753	988	1494	2140	2789
Funk	77	297	716	1161	1632	2174	2892	3519

	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935
Telegrafie	1342	1422	1456	1495	1529	1539	1592	1613
Telefonie	3185	3485	3631	3747	3879	3991	4082	4176
Funk	3827	4127	4332	4492	4624	4716	3870	5051

	1936	1937	1938	1939
Telegrafie	1632	1672	1712	1776
Telefonie	4273	4393	454o	4868
Funk	5285	5618	6008	6849

3. ZU ABBILDUNG I.7 und DIAGRAMM II.5/6/7/8

1921

	JBET(G)	Sc.Abstr.(W)	Anteil*	P	G/W	alpha
Telegrafie	227	18	92%	5,1	12,6	85°
Telefonie	156	22	86%	3,9	7,1	81°
Funk	216	184	15%	0,08	1,2	10°

1927

	JBET(G)	Sc.Abstr.(W)	Anteil*	P	G/W	alpha
Telegrafie	162	39	76%	1,95	4,1	72°
Telefonie	642	144	78%	0,54	4,5	74°
Funk	627	395	37%	0,09	1,6	30°

1939**

	Schr.Sch.RPF	Sc.Abstr.(W)	Anteil*	P	G/W	alpha
Telegrafie	64	18	72%	4	3,6	69°
Telefonie	446	204	54%	0,27	2,2	50°
Funk	841	508	40%	0,08	1,7	33°

*) Anteil der Differenz (G-W) an der Gesamtzahl G

**) Hier waren nur Werte für 6 Monate von 1939 zugänglich. Sie wurden verdoppelt.

Telegrafie/Telefonie/Funk = Fernmeldetechnik insgesamt:

Jahr	G	W	(G-W)/G·100	P	G/W	alpha
1921	599	224	63%	0,3	2,7	59∞
1927	1431	578	60%	0,1	2,5	56°
1939	1351	730	46%	0,06	1,9	40°

4. ZU DIAGRAMM III.3

Jahr	Promotionen	IRE-Neuzugänge
1940	1.030	
1941	920	1.000
1942	820	1.500
1943	780	2.000
1944	300	2.000

in Physik, Chemie, Mathematik, lngenieurwesen

(Q.: Tab.lII.4 und Whittemore (1962))

5. ZU DIAGRAMM III.4

Personal der Abteilung für »Mathematical Research« der BTL

(Q.: BAA. Math.Res.Personal 1922-1956)

Jahr	Wiss. u. Ings.	Techniker	Gesamt
1922	1	5	6
1923	1	5	6
1924	1	5	6
1925	1	5	6
1926	1	3	4
1927	2	2	4
1928	2	2	4
1929	5	2	7
1930	8	4	12
-	(keine Daten)	-	-
1934	8	5	13
1935	14	6	20
1936	14	5	19
1937	14	5	19
1938	15	6	21
1939	18	6	24
1940	19	5	24
1941	18	7	25
1942	18	17	35
1943	19	24	43
1944	16	22	38
1945	18	16	34
1946	17	12	29
1947	16	12	28
1948	17	13	30

6. zu Teil IV.3

Schwerpunkt-Zitierungsgebiete der Arbeiten von Gabor (TOC), Shannon (MTC) (1948, 1949 und weitere Auflagen) und Wiener (1948, 1949 mit weiteren Auflagen).

(in Zitierungen. Marginale Gebiete sind dabei vernachlässigt)

(Q.: Science Citation Index)

	Gabor	Wiener	Shannon
All .Systemtheorie/ Kyb./ Regelung/ -Steuerung/ Automation	-	18	13
Informatik/Computer Science	1	4	17
el.NT/Elektronik	5	4	5
Angew.Math. / Stat./ Wahrsch.th./ math.Biol.	1	4	15
Physik/ Allg.Naturw.	2	8	7
Akustik/ Spr./ Hören	9	1	3
Ökologie/ Umwelt Biosysteme	1	20	

VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

BSTJ: Beil System Technical Journal

BLR: Beil Laboratories Record

BTM: Beil Telephone Magazine

BTQ: Beil Telephone Quarterly

EFD: Europäischer Fernsprechdienst

ENT: Elektrische Nachrichtentechnik

EZT: Elektrotechnische Zeitschrift

JB el. Fmw: Jahrbuch des ei . Fernmeldewesens

J.IEE : Journal of the Institution of Electrical Engineers

Proc. IRE : Proceedings of the Institution of Radio Engineers

TFT: Telegrafen- und Fernsprech-Technik

Trans.AIEE: Transactions of the American Institute of Electrical Engineers

QUELLENANGABEN

1. UNPUBLIZIERTE QUELLEN

Die meisten der unpublizierten Memoranda, Reports oder Korrespondenzen sind in dieser Arbeit nur für einzelne Abschnitte von Bedeutung und werden mit ihren Quellen in den Anmerkungen angegeben, in denen sie zuerst auftauchen.

Einige wichtigere sind unter »D« angeführt. Lediglich die mit Zahlen abgekürzten National-Archiv-Akten sind im Folgenden aufgelistet.

Bei der Kennzeichnung der Quellen wurden folgende Abkürzungen verwendet:

AAA : Archiv-Akte der American Telephone & Telegraph Co., New York BAA : Archiv-Akte der Bell Telephone Laboratories, New Jersey

NAA : Archiv-Akte des National Archivs, Washington, D.C.

SAA : Archiv-Akte des Werner-von-Siemens-Institutes, München

Daneben wurden gelegentlich Dokumente der Archive des American Institute of Physics, Hartley Collection, New York;der Library of Congress, V. Bush Collection, J. von Neumann Collection, Washington, D.C., des Massachussetts Institute of Technology, Wiener Collection, Cambridge, MA und der Smithsonian Institution, L. Espenschied Collection, Washington, D.C. (in den USA) zitiert.

A. DIE NATIONAL-ARCHIV-AKTEN

Diese enthalten sämtlich die Signatur 227, OSRD, die bei allen folgenden Angaben weggelassen wurde.

NAA

1 Summary Technical Report of the Applied Mathematics Panel, NDRC, vol. 3: Probability and Statistical Studies in Warfare Analysis, ed.: V.Bush, J.B. Conant, W.Weaver; Washington, D.C.; 1946

2 Summary Technical Report of Div. 7, NDRC, vol.l: Gunfire Control, ed.: V.Bush, J.B. Conant, H.L. Hazen; Washington, D.C.; 1946

4 Applied Mathematics Panel Meeting; 14.5.1945 Diary of Mina Rees

6 Warren Weaver an L.A. Esbrey, OSRD; 7.3.1944, AMP-Correspondence

7 Warren Weaver an D.C. Spencer, Stanford Univ.; 1.3.1944, AMP-Correspondence

9 M. Stone an W. Weaver; 28.11.1943 und W. Weaver an M. Stone; 6.12.1943, AMP-Correspondence

10 W. Weaver an M. Stone, Harvard Univ.; 29.12.1943, AMP-Correspondence

11 Applied Mathematics Panel, Diary of Warren Weaver; 20.4.1943

17 F.B. Jewett an Vannevar Bush; 22.12.1942 und V. Bush an F.B. Jewett; 28.12.1942, General Records, F.: Operational Research

21 G.W. Bailey an H. Barton; 15.11.1942, General Records, F.: Scientific Personnel Register

23 H.L. Hazen an W. Weaver; 26.2.1944, Div.7, F: Applied Mathematics Panel

24 Warren Weaver an E.J. Poitras; 7.6.1943, Div.7, F:Div.7 (2)

51 Transcription of Conference held in Bureau of Ordnance; 29.9.1944, Division 7, F:Div.7 (4)

53a Preamble, W. Weaver; 13.1.1945, Applied Mathematics Panel

54 Mathematical Analysis and War, Warren Weaver; 14.12.1945, AMPCorrespondence

55 W. Weaver an W.F. Davidson, NDRC; 1.12.1943, General Records, F: Organizations, Applied Mathematics Panel

60 Preservation of Scientific Values Created in the Course of War Research by Statistical Research Group, Columbia University, W. Allen Wallis; 28.8.1945, Applied Mathematics Panel und Request for Declassification of SRG-Report 225, E. Painter; 24.3.1945, AMP und

Training Courses in Statistically based Sampling Procedures in the Inspection of Material, A.J. Wellings; 6.2.1945, AMP

63 Present Status of Organization and Personnel Plans, AMP, W. Weaver; 23.12.1942, AMP-Correspondence

67 W. Weaver an H.L. Hazen; 6.11.1942, Div.7, F:Div.7 (1)

68 Division 7 - Current Activities and 1944-45 Budget Estimates; 15.1.1944, Div.7, F:Div.7(3)

71 V.Bush an Harry Truman (President); 16.8.1945 und H. Truman an V. Bush; 22.8.1945, General Records, F: Demobilization 1945

72 P.D. Appel, MIT an G.W. Bailey, Scientific Personnel Office; 19.2.1944, General Records, F: Personnel, Scientific Personnel Training

75 Post-War Successors of OSRD, L. Chalkley; 6.12.1943, General Records, F: Post-War-Planning

NAA C

1 Conference on Electronic Fire Control Computers; 16.4.1942, New York City, Div.7, F: Electronic Computers

2 Digital Computation for A.A. Directors, G.R. Stibitz; 24.3.1942, Div. 7, F: Electronic Computers (reports)

3 Computation, G.R. Stibitz an O.E. Buckley; 11.9.1944, Applied Mathematics Panel, F:Div.7, Sect.7.1

4 R.B. Colton an M.J. Kelly; 6.10.1944, Division 7, F:Div.7(5)

5 H.L. Hazen an P.-E. Klopsteg, Div.17; 6.2.1943

Div.7, F:Div.7(1)

NAA FL

2 Proposed Report on Smoothing and Prediction Circuits, H.W. Bode; 13.11.1944, Divis.7, F:Div.7(5)

3 A History of Section D-2, NDRC, S.H. Caldwell; 21.2.1946, Div.7, F: History

15 Scientific Personnel on Division 7 Work; 22.6.1943, Div.7, F:Div.7(2)

16 Sect.7.5 of NDRC, Diary of Warren Weaver; 10.3.1944 Div.7, F:Div.7(3)

17 Sect.7.5, NDRC, Diary of Warren Weaver; 5.9.1944, Applied Mathematics Panel, F: Bell Telephone Laboratories

NAA GB

3 National Mathematics Service, H.M. MacNeille, London Mission OSRD; 21.10.1944, Applied Mathematics Panel, F: Post-War Science

NAA OR

4 Summary Report on Operations Analysis, W.B. Leach, W.B. Davidson; 1.9.1942, General Records, F: Operational Research

NAA 5

1 H.K. Weiss an W. Weaver; 15.1.1942, Div.7, F: Project 7, NDRC - 105 Pr i nceton

2 Richard Taylor an W. Weaver; 31.12.1941, Div.7, F: Project 7 Contract NDRC 105 Princeton

4 C.E. Shannon an L.P. Eisenhart, Princeton Univ.; 4.6.1941

NAA W

1 Proposal to Section D-2, NDRC; 22.11.1940, S.H. Caldwell, Div.7,F: MIT-Reports, No.6

2 Diary of Warren Weaver; 11.12.1944, Applied Mathematics Panel

3 W. Weaver an M. Stone; 19.1.1944, Applied Mathematics Panel, F:AMP Correspondence

6 Section 2 of Division D, Diary of the Chairman; 1.7.1942, Warren Weaver, Div.7, F:Project 6 Contract NDRC-83 MIT

10 Conference at Beil Laboratories; 4.6.1941, J.H. Bigelow, Div.7, F: Project 6 Contract NDRC-83 MIT

11 W. Weaver an K.T. Compton; 16.5.1941, Div.7, F:Project 6 NDRC-83 MIT

14 Norbert Wiener an W. Weaver; 15.1.1943, Div.7, F:MIT-Reports, No.6

B. INTERVIEWS IN DEN USA

Vorbemerkung: alle Interviews wurden im Frühjahr 1977 in den USA aufgezeichnet. Die folgenden Angaben sind: Name (Datum; Dauer; Ort), Bemerkungen

BELL LABORATORIES (BTL)

Hendrik Bode (25.2.; 14.3.;4h;Harvard Univ.), Leiter Math.Forschg.BTL

W.R. Bennett (11.2.;3 h; Colts Neck, N.J.), BTL-Ingenieur, früher lT-Kritiker

Brockway McMillan (8.2.;4 h; BTL-Whippany, N.J.), BTL-Mathematiker, BTL Vicepres.

David Siepian (4.2.; 3 h; BTL-Murray Hill, N.J.), BTL-Math., Editor, lT-Geschichte

Eduard N. Gilbert (31.1.; 2 h; BTL-Murray Hill, N.J.), BTL-Math., Mitarbeiter Shannons

Thornton Fry (29.3.; 2 h; Carmel, Calif.), Begründer der BTL-Math., Forschg. im 2. Weltkrieg

Bernard Oliver (1.4.; 1,5 h; Palo Alto, Calif.), BTL-Math., Mitarbeiter Shannons

John Pierce (7.4.; 2 h; Pasadena, Calif.), BTL-Ing., Editor, lT-Geschichte

John Riordan (27.5.; 1,5 h; New York, N.Y.), BTL-Math., Mitarbeiter Turings, Shannons

Claude E. Shannon (28.2., 12.3.; 4 h; Winchester, Mass.), BTL-Math., MIT Prof., lT Begründ.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT)

Robert Gallager (8.3.;1,5 h; MIT), Prof. MIT, Arbeiten in Informationstheorie (lT)

Robert H.Fano (23.2., 15.3.; 4 h; MIT), Prof. MIT, erste unabhängige lT-Arbeiten

Peter Elias (25.2.;3 h; MIT), Prof. MIT, IT-Institutionalisierung, Ed i tor

John Wozencraft (22.2.;1,5 h; MIT), Prof. MIT, Arbeiten in IT

Robert Lerner (8.3.; 2 h; MlT-Lincoln Lab.), Komm.Ing., signalanalyt. Arbeiten

Jerome Wiesner (15.3.; 1 h; MIT), MIT-Pres., ehem.Leiter des Res.Lab. of Electronics

ANDERE

Heinz von Foerster (30.3.; 2 h; Pescadero, Calif.), Physiker, Radar in Deutschl., Kybern. in USA

Warren Weaver (7.2.; 2 h; New Milford, Conn.), Mathematiker, Kriegsforschg. Leiter

C. INTERVIEWS IN EUROPA

DEUTSCHLAND

Karl Küpfmüller (25.8.1976; 3 h; Darmstadt), früher Nachrichtentheoretiker, NT-Prof.

W. Endres, F.Fischer(25.6.1976;3h; Darmstadt) Kriegs-, NachkriegsNth, NT-Profs.

ENGLAND

Colin Cherry (6.9.1976; 3 h; London), NT-Ing., lT-Geschichte, Arbeiten in lT

Donald MacKay (3.9.1976; 2 h; Keele), Signalanalytische lT, Arbeiten in IT

D. ANDERE UNPUBLIZIERTE QUELLEN

(ANONYM) (1940): »Facts about the Bell System«, AAA, 1940

(AT&T) American Telephone and Telegraph Co., Annual Reports, AAA

(BELL LABORATORIES) (4.10.1948) »Notes on Development and Research«, AAA, B.2028

BENNETT, W.R. (23.2.1976): »History of PCM«, BAA Memo; 23.2.1976

BLACKWELL, O.B. (15.10.1928): »The work of the Transmission Development Department«; 15.10.1928 in BAA F.B. Jewett Cab., F.:111.2

BODE, H. (13.1.1948): »Recent Advances in Mathematics«; 13.1.1948, BAA, C.20878, vol.G

BUCKLEY, O.E. (18.2.1935): »Transmission Circuit Research«, 18.2.1935 in BAA D.E. Buckley Comp.Files, D.5, F.FCC

BUSH, V.; J.B.CONANT (1946): »NDRC-Foreword« in NAA 2 (1946):i ff.

CRANDALL, l.B. (21.7.1920): »Research and Publication in the Field of Speech and Telephone Quality«; 21.7.1920, BAA H.D.A.-Cabinet, D.,F.: Speech

D.I.B. (21.4.1926): »Sentence and Word Articulation as Functions of Syllable Articulation«, BAA, 11.30 »Telephone Quality«, vol.1

DUDLEY, H.W. (19.3.1925): »Study of Telephone Quality«, BAA, C.320311 Telephone Quality, 11.30, vol.J; 19.3.1925

FISK, J.B. (1963): »A Statement delivered to the Subcommittee on Science, Research and Development«; 11.12.1963, Bell Laboratories-Druck.

FLETCHER, H. (24.1.1925): »Demonstration of the Principles of Talking and Hearing with Application to Radio«, BAA, 11.30, Vol.l

GABOR, D. (1954): »General Report on Communication Theory and Cybernetics«, Del ivered at the International Symposium on Electronics and Television organized by the Italian National Research Council, Mailand 12.-17.4. 1954, in: Wiener Collection, M.l.T., 8-18

GlFFORD, W.S. (14.2.1935): »The Research Department of the Bell Telephone Laboratories«; 14.2.1935, BAA, O.E.B.F., D.5, F.FCC

HOLLAND, M. (21.11.1924): »Research in Europe - A comparative Study of the National and Industrial Organizations«; 21.11.1924, in BAA E.H. Colpitts Cabinett, F. : »Research in Europe«

HARTLEY, R.V.L. (5.1.1931): »Relation between Frequency Range and Information«; 5.1.1931 BAA, Case 33064

- (13.3.1939): »A general theory of physics and some mathematical by-products«, App.3, »Application to communication problems«; 13.3.1939 Hartley Coll., A.l.P.

- (30.7.1943): »A quantitative Measure of the Amount and Accuracy of Received Information«, BAA, C.23028; 30.7.1943

- (29.5.1946): »Television from the Information Viewpoint«, BAA, C.23028; 29.5.1946, Hartley Co]]., A.l.P.

- (8.3.1954): »A Correction to the Theory of Relativity«; 8.3.1954, Hartley Collect., A.l.P., New York

KÜPFMÜLLER, K. (1931): »Ausgleichsvorgänge in der Telegraphen- und Telephontechnik« in Schwed., in: Teknisk Tidskrift 61; 1931: 153 ff., 178 ff. Dtsch. Übers. in SAA »Küpfmüller«

LÜSCHEN, F. (23.1.1931): »Zur Frage der Organisation der Laboratorien«, SAA Li 186:1; 23.1.1931

MACMlLLAN, B. (1.5.1953): »Mathematical Aspects of Information Theory«; 1.5.1953, BAA, C.20878, vol.P

- (1970): »Seminar Talk; May 1970«, BAA

NYQUlST, H. (1962): Interview mit L. Barnett; 23.10.1962, AAA Transcription of Tape 4050

SHANCK, R.B. (26.3.1927): »Transmission Speeds of Telegraph Systems«, BAA C-12; 26.3.1927

SHANNON, C.E. (1940): »An Algebra for Theoretical Genetics« Ph.D. Thesis, M.l.T. Dept. of Math.; 1940

SHANNON, C. (26.5.1941): »A Height Data Smoothing Mechanism« Princeton Univ.Report to NDRC Div.7-313.2-M1; 26.3.1941

- (8.6.1941): »The Theory of Linear Differential and Smoothing Operators«, Report to NDRC, Princeton University, Div.7-313.1-M1; 8.6.1941

- (26.6.1941): »Some Experimental Results on the Deflection Mechanism«, Princeton Univ.Report to NDRC Div.7-311-M1; 26.6.1941

- (1.1.1942): »The Theory and Design of Linear Differential Equation Machines«, Bell Tel.Labs. Report to the Services 20. Div.7-311-M2; Jan.1942

- (22.6.1944): »The Best Detection of Pulses«, BAA, C.20878; 22.6.1944 vol .H

- (Okt.1947): »Transmission of Information« Okt.1947, BAA, C.20878

STElNBERG,J.C. (14.9.1927): »Articulation with Carrier Sentences«; 14.9. 1927, BAA, C.32011; 11.30

STEWART, J.G. (5.5.1920): »Application of the Theory of Probability to Articulation Data«; 5.5.1920, BAA, 11.30

TULLER, W.G. (1948): »Theoretical Limitations on the Rate of Transmission of Information«, Ph.D. Thesis, M.l.T., Dept. of El.Eng.; 1948

WIENER, N.; P.G. BERGMANN (14.12.1942): »Notes on: The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Time Series«, Research Project DlC6037, Report to the Services 19, M.I.T.; 14.12.1942, Div.7-313.1-M3

WlENER,N. (1942): »The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series«, Report to the Services 19, MIT; 1.2.1942, Div.7, 313.1, M2

- (1942a): »Statistical Method of Prediction in Fire Control«, Report to the Services 59, MIT; 1.12.1942, Div.7-112.2-M2

WILDES, K. (1971): »History of the EE.Department of M.I.T.« Mass. lnst. of Techn.;1971 (unpubl.)

2. Literatur

(ANONYM) (1928): »Meeting of Telephone and Telegraph Engineers at Como, Sept.1927«, in: Elec. Comm. 6; 1928, 3:121 ff.

- (1929): »Die Ausbildung der höheren Beamten des Fernmeldedienstes bei der DkP«, in: Telegr. u. Fernspr.Tech.4; 1929:107 ff.

- (1929): »Vote of Appreciation to Bell Telephone Laboratories«, in: J. Acoust. Soc. Am. 1; 1929, 1:24

- (1931): »Annual Report of the Committee on Communication«, in: El.Eng.50; 1931,7:55 ff.

- (1936): »An Analysis of Electrical Engineering Graduates«, in: Elec.Eng. 55; 1936:952 ff.

- (1940): »Frequency Modulation - A Revolution in Broadcasting?«, in: Electronics 13; 1940:10 ff.

- (1943): »The Problem of Securing Teachers of Collegiate Mathematics for Wartime Needs.« in: Am.Math.Mon. 50; 1943:215 ff.

- (1943): »Radar stories are released by US and Great Britain«, Electronics 16; 1943:274 ff.

- (1944): »Quotas in Military Training Program«, in: Am.Math.Mon. 51; 1944: 174 ff.

- (1944): »Some Data on Mathematics in Collegues«, in: Am.Math.Mon.51; 1944: 362 ff.

- (1944): Scientific and industrial Research, in: Nature 154, 1944:249 ff.

- (1944/45): »FM Programm Transmission: A BeIl System Service«, in: Bell Tel.Mag.23; 1944/45:255 ff.

- (1945): »The Crisis in Training for the Scientific Professions«, in: Am.Math.Mon.52; 1945:409 ff.

- (1945): »Report of the Board of Directors« der AIEE in El.Eng.64; 1945/6: 254 ff.

- (1945): »Educational Program Planned at Conference on Statistical Methods«, in: Elec.Eng. 64; 1945,3:117

- (1945): »Subcommittee on Statistical Methods Announces Years Program«, in: El.Eng. 64; 1945,4:159

- (1946): »Electrical Communication 1940-45«, in: El.Comm.23, 1946,1:3 ff., 2:214 ff, 3:339 ff.

- (1976): »Bei der Elektronik geht es nur in weltweiter Kooperation«, in: FAZ vom 30.11.1976

ACKOFF, R. L. (1978): »Operations Research«, in: Enc.Brit.; 1978, 13: 5-94 ff.

(AIEE Report) (1945): »Report of the Board of Directors« der AIEE in El.Eng.64; 1945/46: 254 ff.

AIGNER, F. (1931): »Die akustische Unterschiedsempfindlichkeit und das Decibel« in: Elektr. Nachr. Tech. 8; 1931, 8:367 ff.

AIGNER, F.; KOBER, C.L. (1936): »Die Theorie der Modulation und Demodulation« in: HF-Technik und Elektroaktustik 48; 1936, 2:59 ff.

ALLISON, D. (1969): »The R&D Game«, Cambridge; 1969

ALT, F.L. (1948): »A Bell Telephone Laboratories' Computing Machine, I,II« in: Math. Tables and other Aids to Computation 3;1948:1 ff., 69 ff.

AMANN, J. (1957): »Unionization of Engineers«, in: Proc.IRE 45;1957:113 f.

(AMERICAN INSTITUTE OF MANAGEMENT) (1958): »Forschung und Entwicklung im Unternehmen«, American Institute of Management, Wirtschaft und Wissenschaft, No. B 58, Sonderdruck des Stiferverbandes für die deutsche Wissenschaft, 1958

ANDERSON, E.W. (1951): »Mathematics in Electrical Graduate Education«. in: Electr. Eng. 70; 1951:507 ff.

ANDERSON, W.P. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Pulse Communication«, in: J. lEE 94, llIA; 1947,14:585

ANDREWS, E.G. (1963): »Telephone Switching and the early Bell Laboratories Computers«, in: Bell Syst. Techn. 42; 1963:341 ff.

ANGWIN, A.S. (1947): »Telecommunications in War« in: J.IEE 94, IIIA; 1947,11: 7 ff.

APPLETON, E.V. (1945): »The scientific Principles of Radar Location«, in: J. lEE 92, 1; 1945:340 ff.

- (1947): Bemerkung in: »Radio Communication Convention«, in: J.IEE 94, III A; 1947,11:3 f.

APPLEYARD, R. (1939): »The History of the institution of Electrical Engieers 1871-1931«, London; 1939

ARMSTRONG, E.H. (1936): A Method of Reducing Disturbances in Radio Signalling by a System of Frequency Modulation, in: Proc.iRE 24; 1936, 5:689 ff.

ASCHOFF, V. (1961): »100 Jahre Fernsprechtechnik«, in: Tech.Mitt.54; 1951, 12:467 ff.

BAHRDT, H.P. (1964): »Organisation der Forschung - soziologische Probleme der Forschungsverwaltung«, in: Atomzeitalter, 1964:45 ff.

BAKER, E.W. (1943/44): »‚Packaged Carrier' for the Signal Corps« in: Bell Tel. Mag. 23; 1943/44:237 ff.

- (1945): »Wide-Band Program Transmission Circuits«, in: Elec.Eng. 64; 1945, 3:99 ff.

BAKER, W.J. (1970): »A History of the Marconi Company«,London; 1970

BAKER, W.R. (1945): »Developments in Radio and Television«, in: Elec.Eng. 64; 1945, 4:152 ff.

BANNING, W.P. (1946): »Commercial Broadcasting Pioneer - The WEAF Experiment«, Cambridge MA; 1946

BAR-HILLEL, Y. (1955): »An Examination of Information Theory«, Philosophy of Science 22; 1955:86 ff.

BARNARD, C.l. (1922): »Business Principles in Organization Practice«, in: Bell Tel. Quart.1; 1922, 2:44 ff.

BARNARD, C. (1948): »Organization and Leadership«, Cambridge, MA; 1948

BARNARD, G.A. (1951): »The Theory of Information«, in: J. Roy Stat.Soc.13; 1951,1: 46 ff.

BARNES, R.B.; S.SILVERMAN (1934): »Brownian Motion as Natural Limit to Measuring Processes«, in: Reviews of Modern Physics, 6; 1934:162 ff.

BARRETT, R.T. (1934): »Network Broadcasting. 1. Historical Summary«, in: Bell Tel. Quart.13; 1934:75 ff.

BARRETT, T.W. (1972): »On Vibrating Strings and Information Theory«, in: J.Sound. Vib. 20; 1972:407 ff.

- (1972a): »Conservation of Information«, Acustica 27; 1972:44 ff.

- (1972b): »The Definition Precedence of Signal Parameters: Sequential versus Simultaneous Information«, in: Acustica 27; 1972:90 ff.

- (1972c): »The Conceptual Basis of Two Information Theories - a Reply to Some Criticisms«, in: J. Sound and Vibrat. 25; 1972:638 ff.

- (1973): »Structural Information Theory«, in: Journ. Acoust.Soc.Am.54; 1973: 1092 ff.

BARSTOW, J.M. (1935) u. P. BLYE; H. KENT: »Measurement of Telephone Noise and Power Wave Shape«, in: El.Eng.54; 1935, 12:1037 ff.

BARTLETT, F.E.; HA. SHEPARD (1953): »A Bibliography of Cybernetics«, in: Proc.Amer.Acad. Arts & Sciences 80; 1953; 204 ff.

BAXTER, J.P. (1968): »Scientists against Time«, Boston; 1968 (1. Aufl. 1946) BEAL, R.R. (1943): »Radio and its Post-War Prospects«, in: Electronics 16; 1943,3:92 ff.

BEGRICH, H. (1937): »Die Entwicklung des Fernsehens«, in: Fernsehen u. Tonfilm 8; 1937,4:29 ff.

BELLO, F. (1958): »The Worlds Greatest industrial Laboratory«, in: Fortune; 1958 (Sonderdruck)

BEKKER, C. : »Radar-Duell im Dunkel«, Hamburg; ohne Dat.

BELL, J. (1947): »Data Transmission Systems«, in: J.IEE 94, lIlA; 1947,2: 222 ff.

BENDER, H. (1939): »Wege zur Bekämpfung der Wellenknappheit bei der Rundfunkversorgung«, in: Funktechn. Monatsh.; 1939,1:1 ff.

BERGTOLD, F. (1939): Grundlagen der Elektrotechnik für die Rundfunktechnik und für die Übrige Fernmeldetechnik, in: Funk; 1939,17:466 ff.

BIBBINS, G.S. (1934): »Network Broadcasting. III. Telephone Facilities«, in: Bell Tel. Quart. 13; 1934:106 ff.

BlNGHAM, V.W.; J. RORTY (1942): »How the Army sorts its Man power«, in: Harpers Magazine 185; 1942, 435:1108 ff.

BlNGLEY, F.J. (1951): »Mathematical style and the Technical Paper« in: Proc.IRE 39; Arg.1951:867 ff.

(B.l.O.S.) (1950): »Telecommunication and Equipment in Germany during the period 1939-1945«, B(ritish) I(ntelligence) O(bjectives) S(ub-Committee) Surveys Report No.29, London 1950

BLACHMANN, (1956): »The Third London Symposium on Information Theory«, in: IRE Trans.on inf.Th. vol.IT-2; 1956:17 ff.

- (1957): »Communication as a Garne«, in: IRE WESCON. Rec.1; 1957,2:61 ff.

BLACKMAN, B.; H. BODE; C.E. SHANNON (1946): »Data Smoothing and Prediction in Fire-Control Systems« in: Summary Technical Report, Div.7, NDRC,

vol.1, »Gunfire Control«, Washington, D.C.; 1946:71 ff.

BLACKWELL, O.B. (1932): »The Time Factor in Telephone Transmission«, in: Trans.AIEE 51; 1932:141 ff.

BLAKE, S.B. (1969): »Forschung, Entwicklung und Management«, München, Wien; 1969

BLEY, C. (1949): »Geheimnis Radar«, Hamburg; 1949

BODE, H.W. (1945): »Network Analysis and Feedback Amplifier Design«, New York; 1945

BODE, H. (1971): »Synergy: Technical Integration and Technological Innovation in the Bell System«, Murray Hill; 1971

- (1978): »Systems Engineering«, in: Enc.Brit.; 1978, 17:970 ff.

BODE, H., F. MOSTELLER; J. TUKEY; C.WINSOR (1949): »The Education of a Scientific Generalist«,in: Science 109; 1949:553 ff.

BODE, H., C.E. SHANNON (1950): »A Simplified Derivation of Linear Least Square Smoothing and Prediction Theory«, in: Proc.IRE 38; 1950:417 ff.

BÖHME, G., W. VAN DEN DAEHLE (1977): »Erfahrung als Programm - über Strukturen vorparadigmatischer Wissenschaften«, in: Böhme, van den Daehle, Kron (1977): 183 ff.

BÖHME, G., W. VAN DEN DAEHLE; R. HOHLFELD (1978): »Finalisierung revisited« in: Starnberger Studien (1978): 195 ff.

BÖHME, G.; W. VAN DEN DAEHLE, W. KROHN (1978): »Die Verwissenschaftlichung von Technologie«, in: Starnberger Studien (1978):339 ff.

BORING, M.; A. STEVENSON; K. MCEACHRON (1945): »A Reply From Industry to the Colleges«, in: Electri.Engin.64; 1945:398 ff.

BORNEMANN, H. (1938): »Die künftige Entwicklung des Fernsprechweitverkehrs vom Blickpunkt der CCIF aus gesehen«, in. JB d. Fmw.; 1938:41 ff.

- (1939): »Die deutschen Vorkehrungen zur Erweiterung des Fernsprechfrequenzbandes«, in. JB d. Fmw., 1939:194 ff.

- (1952): »Entwicklung und Aufbau der CCI und deren gegenwärtige wesentliche Probleme«, in: JB d. Fmw.; 1952:102 ff.

BORST, J.H. (1931): »The Decibel«, in: Radio News 13; 1931,5:384 ff.

BOWEN, E.G. (1946): »The historical development of Radar«, in: Proc. IRE (Austral.) 7; 1946:3 ff.

BOWN, R. (1953): »Vitality of a Research Institution and how to maintain it«. in: Bell Syst.Tech.Publ., Monograph 2207; 1953

BRAUER, L.; A. MENDELSSOHN-BARTHOLDY; A. MEYER (1930): »Forschungsinstitute, ihre Geschichte, Organisation und Ziele«, Hamburg; 1930

BRAUN, K. (1930): »Die Bedeutung und Bestimmung der Übertragungsgüte im Fernsprechverkehr«, in: Telgr.u.Fernspr.Techn.29, 1940: 147 ff.

- (1941/42): »Die Empfangslautstärke beim Fernsprechen und ihre Einhaltung bei der Netzplanung«, in: JB d.Fmw.; 1941/42:128 ff.

BREDOW, H. (1930): »Wirtschaftliche und Organisatorische Fragen«, in: Rundfunk JB; 1930:83 ff.

BREISIG, F. (1926): »Welche Bedeutung hat für die Fernsprechverwaltungen die Wahl eines neuen Übertragungsmaßes?« in: Europ.Fernsprechdienst 2; 1926:21 ff.

- (1910): »Theoretische Telegraphie«, Braunschweig, 1910[1]

- (1924): »Theoretische Telegraphie - Eine Anwendung der Maxwellschen Elektrodynamik auf Vorgänge in Leitungen und Schaltungen«, Braunschweig; 1924[2]

-(1927): »Internationaler Technisch-wissenschaftlicher Kongress der Telegraphie und Telephonie auf und ohne Leitungen zu Ehren von Allexandro Volta«, in: Europ.Fernspr.Dienst 6; 1927:12 ff.

BRIDGMAN, P.W. (1927): »The logic of modern physics«, New York; 1927 BRILLOUIN, L. (1956): »Science and Information Theory« New York; 1956

BROCKMEYER, E.; H.C. HALSTROM; A. JENSEN (1948): The life and Works of A. K. Erlang, in: Trans.Dan.Acad.Techn.Sci.; 1948,2

BROMLEIGH, G.L. (1968): The Power of an Idea, in: Bell Lab.Rec.46; 1968,2: 1 f.

BROWN, J.; E. GLAZIER (1964): Signal Analysis, New York; 1964

BRUCKMANN, H. (1935): »Der Begriff Modulation in der HF-Technik, Messung des M. Grades und die Modulationsverfahren«, in. Telegr.u.Fernsprechtechnik 24; 1935,1:17 ff. und 2:29 ff.

BRYANT, J.M. (1939): »Coordination of Physics with Electrical Engineering«, Trans.AIEE 58; 1939:35 ff.

BUCKLEY, O.E. (1944/45): »Bell Laboratories in the War«, in: Bell Tel.Mag.23 1944/45:227 ff.

BUHL, W. (1974): »Einführung in die Wissenschaftssoziologie«, Stuttgart; 1974

BURCK, W.; P. KOTOWSKI; H. LICHTE (1935): »Der Aufbau des Tonhöhen-Bewußtsein«, in: Elektr. Nachrichten Tech.12; 1935,10:326 ff.

- (1935a): »Hörbarkeit von Laufzeitdifferenzen«, in: Elektr.Nachr.Tech.12; 1935,11:355 ff.

BURNHAM, G.H. (1943): »The Status of Courses in Physics and of Physics Departments in Institutions of Higher Education, Oct.1942«, in: Am.J. Phys. 11; 1943,2:78 ff.

BUSH, V. (1931): »The Differential Analyzer - A New Machine for Solving Differential Equations«, J.of the Frankl.Inst. 212; 1931:447 ff.

- (1945): »Summary of the Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research«, in: Science 102; 1945, 2639:79 ff.
- (1946): »Research, Organization and National Security«, in: J.of the Am. Soc.Naval Engs. 58; 1946,2:179 ff.
- (1968): »Foreword«, in: Baxter (1968):i

BUSH, G.P.; L.H. HATTERY (1950): »Scientific Research: its Administration and Organization«, Washington; 1950

BUSIGNIES, H. und M. DISHAL (1949): »Some Relations between Speed of indication, Bandwidth and Signal-to-Random-Noise Ratio in Radio Navigation and Direction Finding«, in: Proc.IRE 37; 1949:478 ff.

BUTTLER, K. (1940/41): »Querschnitt durch das Schrifttum über Telegraphen und Fernsprechtechnik«, in: JB d.Fmw.; 1940/41:83 ff.

CAMPBELL, G.A. (1924): »Mathematics in industrial Research«, in: Bell Syst. Tech.J.3; 1924:550 ff.

CAMPBELL, W.L. (1908): »Multi office system«, in: Proc.AIEE; 29.6.1908

CARSON, J. (1922): »Notes on the Theory of Modulation«, in: Proc.IRE 10; 1922: 57 ff.

- (1931): »The statistical Energy-Frequency System Spectrum of Random Disturbances«, in: Bell Syst.Tech.J.10; 1931,3:374 ff.

- (1936): »Mathematics and Electrical Communication«, in: Bell Lab.Rec.14; 1936:397 ff.

- (1940): »Amplitude, Frequency, Phase Modulation«, in: Wireless Eng.17; 1940:477 ff.

CARTER, C.F.; G.P. MEREDITH; G.C.SHACKLE (1954): »Uncertainty and Business Decisions«, Liverpool, 1954

CARTY J.J. (1890): »Telephone Engineering«, in: Electrical Review; 24.5.1890:6 f.

- (1922): »Ideals of the Telephone Service«, in: Bell Tel.Quart.1; 1922, 3:1 ff.

CATTERMOLE, K.W. (1969): »Principles of Pulse Code Modulation«, London; 1969

CETRON, M.J. (1969): »Technological Forecasting. A practical Approach«, New York; 1969

CHAFFEE, J.G. (1940): Frequency Modulation, in: Bell lab.Rec.16; 1940:177 ff.

CHANDRASEKHAR, S. (1943): »Stochastic Problems in Physics and Astronomy«, Rev.of Modern Physics 15; 1943:1 ff.

CHERRY, C. (1952): »What practical benefits can communication engineers expect from modern communication theory«, in: Proc. lEE 99,III; 1952:404 ff.

- (1951): »A History of the Theory of Information«, in: J.lEE 98, III; 1951: 383 ff.

- (1963): »Kommunikationsforschung - eine neue Wissenschaft«, Frankfurt/M. 1963

CHESSIN, P.L. (1955): »A Bibliography on Noise«, in: lRE-Trans.on Inf.th. IT-1 ; 1955:15 ff.

CHEVALIER, W. (1945): »Technology in Post-War Expansion«, in: Elec.Eng.64; 1945,2:47 ff.

CHURCHER, B.G. (1934); A. KING, H. DAVIES: »The Measurements of Noise, with special Reference to Engineering Noise Problems«, in: Journ.IEE 75; 1934, 454 : 401 ff.

CLARKE, R.G. (1938): »Une ére nouvelle en telegraphie«, in: Rev. Telph.Telegr. 16; 1938, 166:146 ff.

CLARK, P.G. (1953): »The telephone Industry - A study in private investment«, in: Leontief (1953):243 ff.

CLAVlER, A.G. (1938): »Evaluation of Transmission Efficiency According to

Hartley's Expression of Information Content«, in: El.Comm.25; 1948:414 ff.

CLAVIER, A.G.; P.F.PANTER; D.D.GRIEG (1947): »PCM Distortion Analysis«, in: El.Eng.66; 1947,11:1110 ff.

COLE, R.I. (1950): »Management of Research and Development«, in: Proc.lRE 38; 1950,7:724 f.

COLE, S.; COLE (1973): »Social Stratification in Science«, Chicago; 1973

COLLARD, J. (1928/29): »A Theoretical Study of the Articulation and Intelligibility of a Telephone Circuit«, in: El.Comm.7; 1928/29:168 ff.

COLPlTTS, E.H. (1957): Scientific Research Applied to the Telephone Transmitter and Receiver, in: Trans AIEE 56; 1937:1441 ff.

COLTON, R.B. (1945): »Army Ground Communication Equipment«, in: El.Eng.64; 1945,5:173 ff.

COLTON, R.B. (1945): »Radar in the United States Army«, in: Proc.IRE 33;1945: 740 ff.

COMPTON, K. (1946): »Scientific and Engineering Progress - lnsurance against Aggression and Depression«, in: Chem.Eng.News 24: 1946:1328 ff.

CONANT, J. (1947): »Understanding Science«, New Haven 1947

CONDON, E. (1950), ed.: »The Present Status of Color Television«, in: Proc. IRE 38; 1950,9:980 ff.

COOKE, D.A. ; Z. JELONEK; A. OXFORD; E. FITCH (1947): »Pulse Communication«, in: J. IEE 94, lIlA; 1947:83 ff.

COON, H. (1939): »AT&T - The Story of a Great Monopoly«, New York; 1939

COOPER, F.S. (1941): »Location and Extent of Industrial Research Activity in the United States« Sect.IV, in: Research - A National Resource, II Industrial Research«, Report to the National Resources Planning Board, Washington; 1941:173 ff.

CORSE, W.M. (1928): »Research in U.S.A. - The Profit-Maker of the Century«, Ingeniörsvetenskapsakademiens Meddelande, 87, Stockholm; 1928

COURSEY, P.R. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Radio Components«, in: J.IEE 94, lllA; 1947,15:938

COVER, T.M. (1972): »Broadcast Channels«, in: IEEE Trans.Inf.th., IT-18; 1972:2 ff.

COVETTE, F.H. (1944/45): »Western Electric's First 75 Years - A Chronology«, in: Bell Tel.Mag. 23; 1944/45, 4:271 ff.

CRAFT, E.B. (1924): »Bell System Research Laboratories«, in: Electr.Comm.2; 1924:153 ff.

- (1925): »Development and Research in the Bell System«, in: Bell Tel.Quart.4; 1925:266 ff.

CRAEMER, P. (1941): »Zwei Jahrzehnte Deutsche Fernkabel-Gesellschaft, 1921-1941«, in: Europ.Fernspr.Dienst 57; 1941:1 ff.

CRANDALL, I.B. (1917): »The composition of speech«, in: Phys.Rev.10; 1917: 74 ff.

CRANE, D. (1972): »Invisible Colleges«, London; 1972

CRIPPS, S. (1947): Bemerkung auf der Radio Communication Convention, J.IEE 94, lllA; 1947,11:1 ff.

CROSBY, M.G. (1937): »Frequency Modulation Noise Characteristics«, in: Proc. IRE 25; 1937:427 ff.

CURRY, W.F. (1939): »The Coordination of Mathematics and Physics with Electrical Engineering Subjects«, in: Trans.AIEE 58; 1939:36

CURTISS, D.R. (1937): »Fashions in Mathematics«, in. Am.Math.Mon.44, 1937: 559 ff.

CZADA, P. (1969): »Die Berliner Elektroindustrie in der Weimarer Zeit«, in: Einzelveröffentlichungen der hist.Komm. zu Berlin, Bd. 4, Berlin; 1969

CZERNY, M. (1933): »Grenzen der Messung«, in: Zeitschr.f.techn.Physik, 14; 1933, 11:436 ff.

DALLINGER, J.H. (1939): »Some Contributions of Radio to other Sciences« ,in:

J.Frankl.Inst. 228; 1939:111

DAVIS, H. (1978): »Warning and Detection Systems, Military«, Enc.Brit., 1978,19:598 ff.

DELLINGER, J.H. (1939): »Some contributions of radio to other sciences«, in: J. of the Frankl.Inst. 228; 1939,1:11 ff.

DELORAINE, E.M. (1949): »Pulse Modualtion«, in: Electr.Comm26;1949:222 ff.

DELORAINE, E.M. und E.LABlN (1944): »Pulse Time Modulation«, in: El.22;

1944,2:91 ff.

DE SOLLA-PRICE, J.D. (1963): »Little Science - Big Science«, New York, London; 1963

DEWEY, G. (1923): »The Relative frequency of English speech sounds«, Cambridge, MA; 1923

D'HUMY, F.E.; P.J. HOWE (1944): »American Telegraphy After 100 Years«, in: Trans.AIEE 63; 1944:1014 ff.

DlETZOLD, R.L. (1938): »Network Theory comes of Age«, in: El.Eng.67; 1948,9:895 ff.

DITTMAR, R.B. (1949): »The Development of Physical Facilities for Research«, in: Proc.IRE 37; 1949:423 ff.

DOUCH, E.J. (1947): »The Use of Servos in the Army During the Past War«, in: J. IEE 94, IIA; 1947,2:177 ff.

DOW, J.B. (1945): »The Navy Electronics Program and Some of its Past, Present, and Future Problems«, in: Proc.IRE 33; 1945:291 ff.

DREYFUS, R. (1936): »L'evolution de la telegraphie«, in: Rev.gen.Electr., 39; 1936, 22:801 ff.

DU BRlDGE, L.A. (1946): »History and activities of the Radiation Laboratory of the Massachusetts Inst.of Tech.«, in: Rev.Sci.Instr. 17; 1946:1 ff.

DUCASSE, C.J. (1939): »Symbols, signs and signals«, in: Journ. of Symb. Logic 4; 1939, 2:41 ff.

DUDLEY, A.M. (1935): »The Type of Mathematical Training Needed by Electrical Engineers«, in: Am.Math.Mon.42; 1945:301 ff.

DUDLEY, H. (1939): »Remaking Speech«, in: J.Acoust.Soc.Am.11; 1949:165 ff. DUDLEY, H.W. (1940): »The carrier nature of speech«, in: Bell Syst.Tech.J. 19; 1940:495 ff.

DULL, M.F. (1944): »A Review of Army and Navy Communication Facilities«, in: Bell Tel. Mag. 23; 1944, 1:13 ff.

DUNCAN, J.; R. PARKER; R. PIERCE (1944): »Telegraphy in the Bell System«, in: Trans.AIEE 63; 1944:1032 ff.

DUNSHEAT, P. (1946): »British Electrical Engineers and the Second World War«, in: J. lEE 93.1; 1946, 61:17 ff.

DUPUY, R.E.; T.N. DUPUY (1970): »The Encyclopedia of Military History«, New York; 1970

EARP, C.W. (1948): »Relationship between Rate of Transmission of Information, Frequency Bandwidth and signal-to-Noise Ratio«, in: El.Comm.25; 1948:178 ff.

ECKERT, J.W. (1940): »Punched Card Methods in Scientific Computation«, New York; 1940

EGGLESTON, P.; D.G. FINK; W.C. KARMACK (1948): »Bandwidth vs. Noise in Communication Systems«, in: Electronics, 21; 1948,6:72 ff.

ELIAS, P. (1955): »Coding for Noisy Channels«, in: IRE Conv.Rec.3; 1955,4: 37 ff.

- (1958): »Two Famous Papers«, in: IRE Trans.lnf.Th. lT-4; 1958:99

- (1959): »Professional Group on Information Theory in 1960«, in: IRE Trans. on Inf.Th.IT-5; 1959:149 ff.

EMMERSON, G.S. 61973): »Engineering Education - A social History«, Newton Abbott; 1973

ERLANG, A.K. (1918): »Solution of some problems in the theory of probabilities of significance to automatic telephone exchanges.«, in: Post 0ff ice el.Eng.J.; 1918,1

ESAU, K. (1930): »Kurze Elektrische Wellen und ihre Anwendung in der Nachrichtentechnik«, in: Rundfunk JB.; 1930:289 ff.

EVERITT, W.L. (1932): »Communication Engineering«, New York, London, 1932

- (1937): »Die innere Konkurrenz zwischen Telegraphen- und Telephonverkehr«, Dissertation,

Lechte; 1937

FAGEN, M. (1972), ed. : »IMPACT: A compilation of Bell System Innovations in Science and Engineering which have helped create new industries and new products«, Bell Laboratories; 1972

- (1976), ed. : »History of Engineering and Science in the Bell System. The Early Years: 1875-1925«, Bell Laboratories; 1976

- (1978), ed.: »A History of Engineering and Science in the Bell System. II. National Service in War and Peace (1925-1975)«, Bell Laboratories; 1978

FANO, R.M. (1949): »The Transmission of Information«, in: Tech. Report No.65, Res.Lab. Elec., M.I.T.; 1949

(FCC) (1944)(1948)(1950)(1953)(1955): Federal Communications Commission: »Statistics of the Communications Industry of the U.S.«, Washington; 1946; 1950; 1952; 1955; 1957

FEIGE, A. (1927): Allgemeine Vierpoltheorie, in: Mitt.aus TRA 13; 1927: 255 ff.

FERREL, E.B. (1945): »The Servo Problem as a Transmission Problem«, in: Proc.IRE 33; 1945, 11:763 ff.

- (1946): »Electrical and Mechanical Analogies«, in. Bell Lab.Rec.25; 1946: 372 ff.

FETT, G.H. (1946): »A Note on Electrical Engineers Trained During the War«, Studie auf Anforderung des Committee on Education of the IRE, in: Proc. IRE 34; 1946,7:481 ff.

FEYERABEND, E. (1927): »Fernsprecher und Telegraph in den Vereinigten Staaten«, Europ.Fernspr.Dienst 9; 1928:143 ff.

- (1936): »Schwachstrom und Starkstrom - Randbemerkungen eines Fernmeldetechnikers«, in. Europ.Fernspr.Dienst 43; 1936:82 ff.

FINDLEY, P. (1926): »The Research Department«, in: Bell Lab.Rec.2; 1926,4: 164 ff.

- (1950): »The first Quarter Century«, in: Bell Lab.Rec.28; 1950:385 ff.

FINK, D.G. (1947): »Hartley«, in: Electronics 20; 1947,2:1

- (1948): »Bandwidth versus Noise in Communication Systems«, in: Electronics 21; 1948,1:72 ff.

- (1950): »the Engineer as Government Adviser«, in. Proc.IRE 38;1950:227 f.

- (1951): »Television Broadcasting in the United States, 1927-1950«, in: Proc. IRE 39; 1951,2:116 ff.

FIRESTONE, F.A. (1933): »A new Analogy between Mechanical and Electrical Systems«, in: J. Acoust.Soc.Am.4; 1933:249 ff.

FISHER, R.A. (1934): Probability, likelihood and Quantity of Information in the Logic of Uncertain Interference, in: Proc.Roy.Soc.A,146; 1934:1

FISHER, R.A. (1935): »The Design of Experiments«, London 1935

FlTZPATRlCK, A.G. (1953):»A New Coding System for PCM«, in: IRE Conv.Rec. 1; 1953,8:125 ff.

FLANZE, G. (1937): »Die Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost«, in: Telegr.u.Fernspr.Techn.26; 1937,5:97 ff.

FLETCHER, H. (1922): »The Nature of Speech and its Interpretation«, in: J. Frankl. Inst. 193; 1922: 729 ff.

- (1929): »Speech and Hearing«, New York; 1929

FLETCHER, H.; W.H. MARTIN (1924): »High Quality Transmission and Reproduction of Speech and Music«, in: Trans.AIEE 43, 1924:384 ff

FORD, M.J. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über Bell (1947), in: J.IEE 94, IIA; 1947,2:253

(FORTUNE) (1942): »A Technological High Command«, Fortune-Artikel, abgedruckt in: Proc.IRE 30; 1942:311 ff.

FRÄNZ, K. (1941): »Die Empfindlichkeit bei Schreibempfang und Instrumentenbeobachtung«, in: HF Techn.u.E.Ak.58; 1941,4:95 ff.

- (1940): »Beitrag zur Berechnung des Verhältnisses zwischen Signal und Rausch-Stärke in Empfänger-Endstufen«, in: Elektr.Nachr.Tech.17; 1940: 215 ff.

- (1948): »Empfängerempfindlichkeit«, in: Fortschr.d.HF-Tech.3; 1948:181 ff.

FRIEDMAN, W. (1920): »The Index of Coincidence and its Applications to Cryptography«, Riverbank Publication No.22; 1920

- (1932): »Notes on Code Words«, in: Am.Math.Mo.39; 1932:394 ff.

FRITZSCHE, H. : »Die Grenzen des Rundfunknachrichtendienstes«, in: J.B. Weltrundfunk, 1937/38:31 ff.

FRÜHAUF, H.: »Zum Stand der Informationstheorie«, in: Nachrichtentech.6; 1955:433 ff.

FRY, T.C. (1925): »Mathematical Research«, in: Bell Labs.Rec.1; 1925,1:15 ff.

- (1929): »Probability and its Engineering Uses«, New York; 1929

- (1941): »Industrial Mathematics«, in: Bell Syst.Tech.J.20; 1941:255 ff.

FRY, T.C. (1964): »Mathematicians in Industry - The First 75 Years«, in: Science 143; 1964f934 ff.

FURER, JA. (1950): »Naval Research and Development in World War II«, in: J.Am.Soc.Naval Engs. 62; 1950,1:21 ff.

FURNAS, C.C. (1948):, ed.: »Research in Industry - Its Organization and Management«, New York, London; 1948[2]

GABOR, D. (1944): »Dynamics of Electron Beams«, in. Science Forum (Electronics); Sep.1944, BTH-Reprint 0645, RLP.160

- (1945): »Stationary Electron Swarms in Electromagnetic Fields«, in: Proc.Roy.Soc.A 183; 1945:436 ff.

- (1946): »Theory of Communication«, in: J. lEE 93; III; 1946:429 ff.

- (1947): »New Possibilities in Speech Transmission«, J. lEE 94, III; 1947: 369 ff. und 95, III; 1948:39 f., 412

- (1947a): »AcousticaL Quanta and the Theory of Hearing« in Nature 159; Mai 1947:591 f.

- (1948): »The Electron Microscope - lts Development, Present Performance and Future Possibilities«, New York; 1948

- (1948a): »Theory of Communication«, Sonderdruck des BTH-Research Laboratory, RLP 179, Rugby; 1948

- (1948b): »Recherches sur quelques problemes des telecommunications et d'acoustique«, in L'onde Electrique 28; 1948, 260:433 ff.

- (1948c): »A new Microscopic Principle«, in: Nature 161; 1948:777 f.

- (1951): »Light and Information« (Ritchie Lecture), Edinburgh; 1951

- (1952): »Lectures on Communication Theory«, in: M.I.T. Res.Lab.Elec. Tech.Rep., 238; 3.4.1952

- (1953): »Communication Theory and Physics«, in: Jackson (1953a):48 ff.

- (1953a): »Information Theory: From Telegraphy to a new Science«, in: The Times Science Rev.; Spring 1953, 11 ff.

- (1953b): Der Nachrichtengehalt eines elektromagnetischen Signals, in: Arch.El.‹bertr.7; 1953:95 ff.

- (1954): Communication Theory and Cybernetics, in: IRE Trans. on Circ.Th. CT-1; 1954ti9 ff.

- (1957): »Die Entwicklungsgeschichte des Elektronenmikroskops«, Elektrot.Ztschr., A 78; 1957,15:522 ff. (Die zitierte Version ist ein Sonderdruck mit der Paginierung ab 1 ff.)

- (1959):«Electronic inventions and their impact on civilization«, London; 1959

- (1972): »Holography, 1948-1971«, in: Proc.lEEE 60; 1972:655 ff.

GABOR, D.; A. GABOR (1954): »An Essay on the Mathematical Theory of Freedom«, in: J. Roy. Stat.Soc., A, 117; 1954:31 ff.

GAIRDNER, J.D. (1947): »Some Servo Mechanisms used by the Royal Navy«, in: J. IEE 94, 1 lA; 1947,2:208 ff.

(GALAXY REPORT) (1957): »Growth of Scientific Research in lndustry 1945-1950«, prepared for the NSF by Galaxy Inc., Washington;1957

GARDNER, G.F. (1934): »Simple mathematical Operations performed by electrical instruments«, in: Gen.Electric Rev.37; 1934; 3:148 ff.

GEHRT, F. (1937): »Probleme des Rundfunk-Empfanges«, in: JB el. Fmw.; 1937: 311 ff.

GERLACH, W. (1937): »Die physikalisch-theoretischen Grenzen der Meßbarkeit«, in: Ztschr.VDI 81; 1937,1:2 ff.

GERMANY, L.W.; D. LAWSON (1947): »The Transmission of Radiolocation, Displays by Means of Microwave Linkage Systems«, in: J. IEE 94, lIlA; 1947, 14:619 ff.

GHERARDl, B. (1925): »The Bell System«, in: Bell Tel.Quart.4; 1925,4:255 ff.

GHERARDI, B.; F.B. JEWETT (1930): »Telephone Communication System of the United States«, in: Bell Syst.Tech.J.9; 1930:1 ff.

GIFFORD, W.S. (1922): »Some Thoughts on Organization and Executive Work«, in: Bell Tel.Quart.1; 1922:2 ff.

GIESECKE (1926/27): »Entwicklung und Aufbau des deutschen Rundfunks«, in: J.B. f. Post u. Telegr.; 1926/27:291 ff.

GIESECKE, H. (1930): »Wie die Organisation des deutschen Rundfunks vorbereitet wurde«, in: Rundfunk JB, 1930:59 ff.

GIESS, H. (1928/29): »Die internationale Regelung des Funkwesens«, in: JB f. Post u.Telgr.; 1928/29:207 ff.

GILBERT, E.N. (1966): »Information Theory after 18 Years«, in: Science 152; 1966:320 ff.

GLADENBECK, F. (1938): »Neuere Entwicklungen in der Fernsprechtechnik«, in: JB el. Fmw., 1938:23 ff.

- (1939): »Die vorbereitenden Arbeiten der deutschen Reichspost zur Freigabe des Fernsehrundfunks«, in: JB el. Fmw.; 1939:9 ff.

GLADENBECK, F.; W.v. WALDOW (1937): »Die Technik des HF Drahtfunks«, in: JB el.Fmw., 1937:342 ff.

GLEZEN, L.L. (1946): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Systems Development of Military Communications«, in: Trans.AIEE 65; 1946:1160

GOERZ, P. (1930): »Die wirtschaftliche Seite des Fernsehens«, in: Fernsehen 1; 1930,1:17 ff.

GOETSCH, H. (1930): »Die Bildtelegraphien in der Welt 1939«, in: Die Deutsche Post 64, 1940:81 ff.

GOLAY, M.J. (1949): »Notes on Digital Coding«, in: Proc.IRE; 1949:657 ff.

GOLDBERG, H. (1954): »An Engineering Incentive Problem«, in. IRE Trans.

Eng. Management 1; 1954:7 ff.

GOLDMAN, J. (1969): »Basic Research in Industry«, in: Allison (1969):207 ff.

GOLDMAN, S. (1948): »Some Fundamental Considerations Concerning Noise Reduction and Range in Radar and Communication«, in: Proc.IRE 36; 1948: 584 ff.

GOLDMAN, S. (1948a): »Frequency Analysis, Modulation and Noise«, New York 1948

GOLDSTINE, H.H. (1972): »The Computer from Pascal to von Neumann«, Princeton; 1972

GOODALL, W.M. (1947): »Telephony by Pulse Code Modulation«, in: Bell Syst. Techn. J. 26; 1947:395 ff.

GOODMANN; MC DERMOTT; WAKATANI (1976): »Subjective evaluation of PCM-coded speech«, in: Bell Syst.Tech.J. 55; 1976,8:1087 ff.

GRINSTEDT, W. (1937): »The Statistical Assessment of Standards of Telephone Transmission«, in: Siemens Mag., Engl.Suppl.140; 1937:1 ff.

GRlSWOLD, A.H. (1922): »The Radio Telephone Situation«, in: Bell Tel.Quart. 1; 1922, 1:2 ff.

GROOS, O.H. (1939): »Stand der Dezimeterwellenphysik«, in: JB el.Fmw.; 1949: 317 ff.

GROSS, H. (1957): »Bilanz der Forschungsausgaben in der amerikanischen Industrie«, aus: Wirtschaft und Wissenschaft, Sonderdruck C57 Kiel, Essen; 1957

GRÜNEFELDT, W. (1938): »Die neuere Entwicklung in der Technik der Fernsprechübertragung auf Drahtleitungen«, in: Europ.Fernspr.Dienst 49; 1938:144 ff.

GUY, R.F. (1936): »Broadcast Coverage« in: Electronics 9, 1936, 5:16 ff.

HAARD, B. (1948): »Signal-to-noise ratios in pulse modulation systems«, in: Ericson Tech.47; 1948:1ff.

HADAMARD, J. (1946): »An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field«, Princeton; 1945

HAGGERTY, P.E. (1966): »Strategies, Tactics, Research«, in: Research Management 3; 1966, 3/141 ff., 9; 1966, 3/141 ff.

HAGSTROM, W. (1965): »The Scientific Community«, New York; 1965

HAINES, J. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Naval Communication«, in: J. lEE 94, llA; 1947, 12:437

HALL, A.H. (1947): »The Use of Servo Mechanisms in Aircraft«, in: J.lEE 94, lIA; 1947,2:256 ff.

HANDBUCH (1929): »Handwörterbuch des Elektrischen Fernmeldewesens herausgegeben von: Ernst Feyerabend, Franz Breisig, August Kruckow, Hugo Heideke, 2 Bde., Berlin 1929

(HANDBUCH) (1970), »Handwörterbuch des elektrischen Fernmeldewesens«, Bd. 1,2,3. Hrsg. : H. Gerwig, u.a., Berlin 1970

HARBICH, H. (1930): »Wellenfragen - Gleichwellenrundfunk«, in: Rundfunk JB; 1930:255 ff.

HARREL, C.G. (1948): »Selecting Projects for Research«, in: Furnas (1948): 104 ff.

HARRIS, D.B. (1951): »The Organization of Research«, in: Proc. IRE 39; 1951, 8:868 ff.

HARRIS, W.B. (1957): »The Electronic Business«, in: Fortune 55; 1957, April: 136 ff., Mai: 135 ff., Juni 136 ff.

HARTLEY, R.V.L. (1919): »The Function of Phase Difference in the Binaural Location of pure tones«, in: Phys.Rev. 13, ser.2; 1919:373 ff.

- (1924): »The Transmission Unit«, in: Electric.Comm.3; 1924:34 ff.

- (1926): »Transmission Limits of Telephone Lines«, Bell Lab.Rec. 1; 1926, 2:225 ff.

- (1928): »Transmission of Information«, in: Bell Syst.Tech.J.7; 1928: 535 ff.

- (1929): »A wave Mechanism of Quantum Phenomena«, in: Phys.Rev.33; 1929: 289 ff.

- (1942): »A more Symmetrical Fourier Analysis Applied to Transmission Problems«, in: Proc. IRE 30; 1942, 3:145 ff.

- (1950): »Matter, a Mode of Motion«, in: Bell Syst.Tech.J. 29; 1950: 350 ff.

- (1950a) : »The Reflection of Diverging Waves by a Gyrostatic Medium«, in: Bell Syst.Tech.J.29; 1950:369 ff.

- (1955): »A New System of Logarithmic Units«, in: Proc.IRE 43; 1955:97 f.

HARTSHORNE, E.Y. (1938): »The German Universities and The Government«, in: Annals of the Am.Acad.of Pol. and Soc.Science 200; 1938:210 ff.

HASKINS, C.P. (1948): »Characteristics of the Research Man and the Research Athmosphere«, in: Furnas (1948):182 ff.

HAUSBERGER, S. (1952): »Industrieforschung in Westeuropa«, in der Reihe »Die Studienreise«, Wien; 1952

HAZELTINE, A. (1936): »Inaugural Address«, in: Proc. IRE 24, 1936, 2:140 ff.

HAZEN, H.L. (1934): »Theory of Servomechanisms«, in: J.of the Frankf.Inst. 218; 1934:279 ff.

- (1934a): »Design and Test of High-Performance Servomechanisms«, in: J. Frankl.Inst.218; 1934:337 ff.

HAZEN, H.L.; G.S. BROMN (1940): »The Cinema Integraph - A Machine for Evaluating a parametric product integral«, J. of the Frankf.Inst.230; 1940:19 ff., 183 ff.

HELD, K. (1973): »Kommunikationsforschung - Wissenschaft oder Ideologie? Materialien zur Kritik einer neuen Wissenschaft«, München; 1973

HENNEY, K. (1945): »Law«, in: Electronics 18; 1945:1

HERING, W.; H. STOCK (1938): »Die verschiedenen Arten der telegraphischen Zeichenübermittlung und ihre Anwendung im In- und Auslandsdienst«, in: JB d.Fmw.; 1938:30 ff.

HERSCHEL, R. (1954): »Informationstheorie und Technik«, in: Regelungstechnik 2; 1954/18 ff.

HERSH, R. (1978): »Brownian Movement«, in: Enc.Brit.; 1978,3:331 ff.

HERZ, K.; G. PLEUGER (1938): »Nebensprechbedingungen in Fernsprechkabeln

mit trägerfrequenter Ausnutzung«, in: JB d. Fmw., 1938:87 ff.

HICKMAN, J.B. (1947): »Military Radio Communications«, in: J. lEE 94, llIA; 1947, 21:60 ff.

HICKMAN, J.B. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Military and Aeronautical Communication«, in: J.IEE 94, III A; 1947, 13:495

HICKERNELL, L.F. (1959): »The Institute and its Operations«, in: Elec. Eng.78; 1959:725 ff.

HIGGINS, G.C.; L.A. JONES (1952): »The Nature and Evaluation of the Sharpness of Photographic Images«, in: Journal Soc.Mot.Pict.Telev.Eng.58; 1952:277 ff.

HILL, L.S. (1926): »A Novel Checking Method for Telegraphic Sequences«, in: Telegraph and Telephone Age, 1.10.1926, 19:456 ff.

- (1927): »The Role of Prime Members in the Checking of Telegraphic Communications«, Telegraph and Telephone Age 7; 1.4.1927:151 ff. 14; 16.7.1927:323 ff.

- (1929): »Cryptography in an Algebraic Alphabet«, Am.Math.Monthly, 36; Jun/Jul 1929:306 ff.

HILL, H.V. (1941): »Science and Defence - Anglo-American Partnership in Research: Speed in Communication the Key to Success«, in: The Times, London; 17.6.1941

HILLIARD, U. (1944): »Radio Telephones Guide - the ›Blitz Buggies‹«, in: Bell Tel.Mag. 23; 1944,1:52 ff.

HITT, P. : »Manual for the solution of military Ciphers«, Army Service Schools Press, Fort Leavenworth, Kansas, 2. Auflage, ohne Datum; vor 1924

HOCKETT, C.F. (1953): »Review of the Mathematical Theory of Communication«, in: Language 29; 1953:69 ff.

HOELZER, E. (1949): Entwicklungstendenzen in der Nachrichtenübertragung, in: Fernmeldet.Ztschr.2; 1949:1 ff.

HÖPFNER, K. (1928/29): »Die neuere Entwicklung der Technik des Nachrichtenweitverkehrs«, in: JB f. Port v. Telegr.; 1928/29:228 ff.

HOFFMANN, F.de (1961): »Forschung in der amerikanischen Industrie« (Vortrag 1961 gehalten), in: »Forschung und Industrie in den USA - ihre internationale Verflechtung«, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft f. Forschung des Landes NRW, H.107:47 ff., Köln 1962

HOLLAND, M. (1935): »Bridging the gap between University and Industry in industrial research«, in: J.of Eng.Education 26; 1935:384 ff.

- (1948): »Research in America and Europe«, in: Furnas (1948):499 ff.

HOLLlNGHURST, F.; C. SOWTON (1947): »Resume of UHF Point-to-PointCommunication«, in: J. lEE 94, III A; 1947, 11:115 ff.

HOLMSTROM, J.E. (1956): »Records and Research in Engineering and lndustrial Science«, London; 1956

HOLZWARTH, H. (1949): »Pulscodemodulation und ihre Verzerrungen bei logarithmischer Amplitudenquantelung«, in: Arch.El.Ubertr.3; 1949:277 ff.

HONNEL, P.M. (1946): »New Frequency Unit«, in: El.Eng.64; 1946,11:422 ff.

HORATZ, L. (1956): »Die amerikanischen Nachrichtengesellschaften«, in: JB d.Fmw.; 1956:332 ff.

HORTON, J.W. (1929): »The Electrical Transmission of Pictures and Images«, in: Proc.IRE 17; 1929,9:1540 ff.

HOWE, G.W. (1941): »Frequency versus Amplitude Modulation«, in: Wireless Eng.18; 1941:1 f.

HOWETH, L.S. (1963): »History of Communications - Electronics in the United States Navy«, Washington; 1963

HOYT, R.S. 01933): »Probability Theory and Telephone Transmission Engineering«, in: Bell Syst.Tech.J.12; 1933,1:35 ff.

HUGHES, R.M. (1938): »Research in American Universities and Colleges«, Kap.6, in: »Research - A National Resource , I.Relation of the Federal Government to Research«, Washington; 1938:167 ff.

HULL, A.W. (1946): »Research, Creator of Employment«, in: El.Eng.64; 1945: 25 f.

HUMBY, A.M. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Long-Distance Point-to-Point Communication«, J. lEE 94, lIlA; 1947,12:399

HUSKEY, H.D. (1976): »The Development of Automatic Computing«, in: van Tassel (1976):13 ff.

INGLES, H.C. (1945): »Electrical Communications in World-Wide Warfare -On the Ground«, in: Bell Tel.Mag. 24; 1945,1:54 ff.

ISING, G. (1931): »Natürliche Empfänglichkeitsgrenze der Waage«, in: Ann.d.Physik 8; 1931:905 ff.

lTO, H. (1952): »On the Theory of Continous Information«, Proceedings Jap.Acad.28, 1952:187 ff.

IVES, H.E. (1932): »Picture Transmission and Television«, in: Bell Tel. Quart.11; 1932,2:118 ff.

JACKSON, D.C. (1934): »The Evolution of Electrical Engineering«, in: El. Eng.53; 1934:770 ff.

JACKSON, W. (1947): »The War Time Education and the Training of Radio Personnel«, in: J. lEE 94,1; 1947, 73:26 ff.

- (1953) ed.: »Symposium on Communication Theory, London; 1952«, London, 1953

- (1953a), Ed.: »Symposium on Information Theory, London; 1950«, in: TransIRE, PGIT-1; 1953

JAGLOM, A.M.; I.M. JAGLOM (1960): »Wahrscheinlichkeit und Information«, Berlin 1960

JAMES, E.G.; J.C. DIX u.a. (1947): »The Development of the Wireless Set No.10: An early Application of Pulse Length Modulation«, J.IEE 94, lIlA; 1947,13:517 ff.

JAMMER, M. (1966): »The Conceptual Development of Quantum Mechanics«, New York; 1966

JELONEK, Z. (1947): »Noise Problems in Pulse Communication«, in: J. IEE 94, lIlA; 1947:533 ff.

JELONEK, Z.; D. COOKE, A.J. OXFORD, E. FITCH (1947): »Authors Reply«, in: Diskussion zu JELONEK (1947): 588

JONES, T.A. ; K.W. PFLEGER (1946): »Performance characteristics of various carrier telegraph methods«, in: Bell Syst.Tech.J. 25; 1946:483

JONES, P.C. (1946): »Bell Laboratories' Role in Victory II«, in: Bell Tel. Mag.25; 1946,2:116 ff.

JORDAN, P. (1927): »Kausalität und Statistik in der modernen Physik«, in: Die Nat.-wiss.15, 1927,5:105 ff.

JEWETT, F.B. (1926): »Motives and Obligations of Pure and Applied Scientific Research«, in: Bell Tel.Quart.5; 1926,1:12 ff.

- (1928): »The Telephone Switchboard - Fifty Years of History«, in: Bell Tel. Quart., 7, 1928, 3:149 ff.

- (1930): »Ein amerikanischer Fachmann über das Fernsehen und seine Zukunft«, in: Ferns.1; 1930,7:322 ff.

- (1932): »Utilizing the Results of Fundamental Research in the Communication Field«, in: Page (1932): 120 ff.

- (1936): »Telephony - Child of Organized Scientific Research«, in: Bell Tel. Quart. 15; 1936/137 ff.

- (1937): »Science Research in Electrical Communication«, in: Bell Syst. Tech.J. 16; 1937:115 ff.

- (1938): »The Engineer and Trends in Economic Thought«, in: El.Eng. 57; 1938:339 ff.

JEWETT, F.B.; R.W. KING (1941): »Engineering Progress and the social order«, Philadelphia; 1941

KAHN, D. (1974): »The Codebreakers« (gekürzte Ausgabe), London; 1974 - (1976): »The Codebreakers«, (ungekürztes Original), New York; 19762

KAILATH, T. (1974): »A View of Three Decades of Linear Filtering Theory«, in: lEEE Trans.on Inf.th. IT-20; 1974:146 ff.

KALDEN, F. (1938): »Abstieg und neuer Aufstieg in der Telegraphie« in: Wiss. und Fortschritt 12; 1938,3:203 ff.

KELLY, M.J. (1945): »Radar and Bell Laboratories«, in: Bell Tel.Mag.24; 1945, 4:221 ff.

- (1950): »Bell Telephone Laboratories - an Example of an Institute of Creative Technology«, in: Proc.Royal Soc., A 203; 1950:287 ff.

- (1953): »Research and Development Problems of Engineering Management in the Electronics Industry«, IRE-Vortrag vom 26.3.1953, Bell Laboratories Druck; Mai 1953

- (1955): »A Transatlantic Telephone Cable«, in: Comm. and Elec.17; 1955: 124 ff.

KERN, W. ; H.H. SCHR~DER (1977): »Forschung und Entwicklung in der Unternehmung«, Hamburg, 1977

KETTERING, C.F. (1932): »Trouble as an Approach to Research«, in: »Profitable Practice in Industrial Research«, ed.M.ROSS, New York; 1932 zitiert in Harrel (1948):107

KlDD, C. (1959): »American Universities and Federal Research«, Cambridge; 1959

KlEVE, L. (1973): »The electric Telegraph in the United Kingdom. A Social and Economic History«, New York; 1973

KING, R.W. (1943): »American Science Mobilizes for Victory«, in: Bell Tel. Mag.22; 1943,2:106 ff.

KIRCHNER, O. (1952): »Tarifgestaltung im Fernsprechverkehr«, in: JB d.Fmw.; 1952:14

KIRKE, H.L. (1947): Diskussionsbeitrag in »Discussion on ›Pulse Communication‹«, in: J.IEE 94, III A; 1947, 13:584

KLAGES, H.; H. HETZLER (1965): »Entwicklungswege der Forschungsorganisation«, in: Human u. Tech.10; 1965:18 ff.

KLIMKE, S. (1935): »Störbefreiung durch Frequenzmodulation«, in: Funktechn.Monatsh.; 1935,7:252 f.

KLINE, J.R. (1946): »Rehabilitation of Graduate Work«, in: Am.Math.Monthly 53; 1946:121 ff.

KNOWLES, H.S. 61941)ß »System Concept in electroacoustical Systems«, in: J.Acoust.Soc.Am.12; 1941:473 ff.

KNOWLES, D.O. (1945): »Electronics - An lndustry comes of Age«, in: El.Eng. 64; 1945,3:106 ff.

KOCH, K.M. (1948): »Schwachstromtechnik und physikalische Grundlagenforschung«, in: Elektrotech.u.Masch.bau 65; 1948,5:71 ff.

KOCK, W.E. (1935): »On the Principle of Uncertainty in Sound«, in: J.Acoust. Soc.Am.7; 1935:56 ff.

- (1937): »Vibrating String considered as an electrical transmission Line« in: J.Acoust.Soc.Am.8; 1937:227

KÖLSCH (1926/27): »Die wirtschaftliche Gestaltung des Fernsprech-Fernverkehrs«, in: JB f.Post u.Telegr.; 1926/27:185 ff.

- (1930/31): »Die planmäßige Gestaltung von Fernleitungsnetzen«, in. JB f. Post- u.Telegr.; 1930031:172 ff.

KOLMOGOROV, A.N. (1968): »Logical Basis for Information Theory and Probability Th.«, in: IEEE Trans. on Inf.Th. 14; 1968/662 ff.

(KONFERENZ) (1948): »Measurement of Telecommunications Efficiency«, Measurements-Section Discussion Meeting; 16.11.1948, in: J. lEE 96,11, 1949:277 ff.

KCNSTANTINOWSKI, K. (1928): »Der internationale Physikerkongress zu Ehren von Alexander Volta (Como, 1927)«, in: Elektrot.u.Masch.bau 46; 1928, 24:590 A ff.

KORN, A. (1911): »Handbuch der Phototelegraphie und Telautographie«, Leipzig; 1911

KORN, T. (1936): »Elektroakustische Grundlagen der Güte des Fernsprechapparates«, in: Elektr.Nachr.Techn.13, 1936,7:219 ff.

KOTOWSKl, P. (1943): »Bandbreitenaufwand und Sicherheit verschiedener drahtloser Telegraphierverfahren«, in: Elektr.Nachr.Techn.20;1943:233

KRUCKOW, A. (1926/27): »Die Entwicklung des SA-Betriebes in den Vereinigten Staaten von Amerika und bei uns«, in. JB f.Post u.Telgr.; 1926/27: 162 ff.

KÜPFMÜLLER, K. (1924): »Über Einschwingvorgänge in Wellenfiltern«, in: Elektr.Nachr.tech.1; 192L:141 ff.

- (1928): Über Beziehungen zwischen Frequenzcharakteristiken und Ausgleichsvorgängen in linearen Systemen, in: Elektr.Nachr.Tech.5; 1928: 18 ff.

- (1932).: »Einführung in die theoretische Elektrotechnik«, Berlin 1932

- (1949): »Systemtheorie der el.Nachrichtenübertragung«, Stuttgart; 1949

- (1952): »Systemtheorie der el.Nachrichtenübertragung«, Stuttgart; 1952[2]

- (1952a): »Technik und Mathematik«, in: TH-Darmstadt-Jahresfeier«; 29.11. 1952:12 ff.

- (1952b): »Mathematik und elektrische Nachrichtentechnik«, in: Ztschr.VDI 94; 1952, 14/15:419 ff.

- (1952c): »Funk und Kabel im Überseedienst«, in: JB d.el.Fmw.; 1952:312 ff.

KÜPFMÜLLER, K.; H. EBELING; P.CRAMER (1932): »Internationale Lehrkurse für den elektrischen Nachrichtenverkehr in Verbindung mit dem CCI«, in: Europ.Fernspr.Dienst 28; 1932:1 ff.

KÜPFMÜLLER, K.; F. LUSCHEN (1937): »Die Entwicklung der Übertragungstechnik für den Nachrichtendienst über Leitungen«, JB.el.Fmw.; 1937:1 ff.

KÜPFMÜLLER, K. ; H.F. MAYER (1949): »Fernsehübertragung auf Leitungen«, in: Schweiz.Arch.angew.Wiss.u.Techn.; 1939, Sonderh.:46 ff.

KÜPFMÜLLER, K.; P. STORCH (1939): »Fernsprechen und Fernschreiben«, in: Europ.Fernspr.Dienst 51; 1939:1 ff.

KUHN, T.S. (1973): »Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen«, Frankfurt; 1973

KUHN, T.S. (1974): »Logik der Forschung oder Psychologie der wissenschaftlichen Arbeit?«, in: Lakatos, Musgrave (1974): 1 ff.

- (1972): »Postskript - 1969 zur Struktur wissenschaftlicher Revolutionen«, in: Weingart(1972): 287 ff.

KUNERT, K. : »Bildtelegraphie und Fernsehen«, in: JB f.Post u.Telegr.; 1930/ 31:217 ff.

KUNST, W. (1940):»Seitenbänder«,in: Telegraphenpraxis 20; 1940, 21:161 ff.

LACK, F.R. (1945): »Radar and Western Electric«, in. Bell Tel.May 24; 1945,4:283 ff.

LAKATOS, I.; A. MUSGRAVE (1974): »Kritik und Erkenntnisfortschritt«, Braunschweig; 1974

LANG, A. (1931): »Die Ausbildung des deutschen Fernmeldeingenieurs«, in: Europ.Fernspr.Dienst 24; 1931:256 ff.

LANG, J.G. (1939): »Die Darstellung elektromechanischer Apparate durch elektrische Ersatzschaltbilder«, in: Funktechn.Monatsh.6, 1939:183 ff.

LANGDON, W.C. (1923): »The Early Corporate Development of the Telephone«, in: Bell Tel.Quart.2; 1923,3:133 ff.

LANGER, M. (1938): »Die Wählertechnik im Ferndienst und die Tonfrequenzfernwahl«, in: JB d.Fmw., 1938:169 ff.

LANDE, A. (1930): »Vorlesungen über Wellenmechanik«, Leipzig; 1930

LANDON, V.D. (1948): »Theoretical Analysis of Various Systems of Multiplex Transmission« RCA Rev., 9; 1948/287 ff., 433 ff.

LAPLUME, J. (1948): »Sur le nombre de signaux discernables en présence de bruit erratique dans un système de transmission à bande passante limitée«, in: Compt.Rend.Acad.Sci.Paris 226; 1948:1348 f.

LARICK, S.H. (1946): »Functional Schematic Diagrams«, in: Proc.IRE 34; 1946: 1005 ff.

LAZARSFELD, P. (1963): »Trends in Broadcasting Research«, in: »Studies of Broadcasting«, P.Lazarsfeld, ed. Tokio; 1963:49 ff.

LEAHY, W.H. (1948): »The Navy in Research«, in: J.Am.Soc.Naval Engs.60; 1948:2:179 ff.

LEE, Y.W. (1950): »Application of statistical methods to communication problems«, MIT R.L.E. Report 181; 1950

LEHNER, T. (1940): »Die Methoden der Leitungsausnützung als Ordnungsprinzip für die Übertragungssysteme der Fernsprechtechnik und der Telegraphie«, in: Telegr.Prax.20; 1940,17:134 ff.

LEIFER, M. (1952): »Communication as an exact science«, in: Sylvania Tech.5; 1952:26 f.

LEIHGTON, R.M. (1978): »Conduct of Warfare«, in: Enc.Brit.; 1978,19: 599 ff.

LEITH, D. (1972): »Dennis Gabor, Holography and the Nobel Prize«, in: Proc.IEEE 60; 1972,6:653 ff.

LEONIDOFF, W. (1928): »Internationale Expansion amerikanischer Nachrichtenmittel Trusts«, in: Europ.Fernspr.Dienst 18; 1928:120 ff.

LEONTIEF, W. (1953) ed.: »Studies in the Structure of American Economy«, New York, 1953

LERNER, R. (1962): »Communication Theory versus Communication«, in: IRE Trans. on Inf.Th.IT-8; 1962:325

LEVINSON, N. (1966) »Wiener's Life«, in: Bull.Am.Math.Soc.72; 1966,1-11:1 ff.

LIMANN, O. (1955): »Wer war der Zweite«, in. Funkschau; 1955,4:61 ff.

LLEWELLYN, F.B. (1946): »Greetings from the Institute of Radio Engineers«, in: J.IEE 93,1; 1946,69:382 f.

LUCAE, G. (1963): »40 Jahre Rundfunkwirtschaft in Deutschland, 1923 - 1963. Unter besonderer Berücksichtigung der Funkindustrie«, Düsseldorf, 1963

LUBBERGER, F. (1923): »Die Fernsprechanlagen mit Wählerbetrieb«, München 1923

- (1948): »Die Zeichen in der Fernmeldetechnik«, in: Frequenz 2; 1948,4: 91 ff.

LUBBERGER, F.; M. SCHLEICHER (1931): »Die Nachrichtenträger in der Fernmeldetechnik«, in: Ztschr.VDl 75; 1931, 51:152 ff.

LUBBERGER, F.; G. RUCKLE (1924): »Der Fernsprechverkehr als Massenerscheinung mit starken Schwankungen«, Berlin; 1924

LUDWIG, K.H. (1974): »Technik und Ingenieure im Dritten Reich«, Düsseldorf, 1974

LÜSCHEN, F. (1923): »Trägerfrequenz - Wechselstromtelegrafie«, in: Elektrotechn.Ztschr.44; 1923:1 ff.; 28 ff.

- (1932): »Moderne Nachrichtensysteme«, (Vortrag 8.4.1932 vor lEE London), in: Europ.Fernspr.Dienst 29, 1932:171 ff.

LÜSCHEN, F.; K. KÜPFMÜLLER (1938): »Die Beschleunigung des Fernsprechdienstes und ihre Bedeutung für die technische Entwicklung«, JB d.e1.Fmw.; 1938:7 ff.

MACCOLL, L.A. (1945): »Fundamental Theory of Servomechanisms«, New York, 1945

MACKAY, D.M. (1950): »Quantal Aspects of Scientific Information«, in: Phil. Mag.41; 1950;289 ff.

MACLAURIN, W.R. (1945): »The Organization of Research in the Radio Industry After the War«, in: Proc.lRE 33; 1945:567 ff.

MACMILLAN, B. (1955): »History of a Problem«, in: J.Soc.Industr.Appl.Math. 3; 1955, 3:119 ff.

MACMILLAN, B. und D. SLEPIAN (1962): »Information Theory«, in: Proc.IRE 50; 1962:1151 ff.

MAGNUS, K. (1930): »Andere Länder - andere Rundfunkorganisationen. Die Organisation des Rundfunks in den Vereinigten Staaten von Nordamerika.« in: Rundfunk JB, 1930, 69 ff.

MALTl, M.G. (1939): »Mathematics and Physics in Engineering«, in: Trans. AIEE 58; 1939:38 f.

MARCOV, P.; J. DAGUET (1956): »New Methods of Speech Transmission«, diskutiert in Blachman (1956):21

MARLAND, E.A. (1964): »Early Electrical Communication«, New York; 1964 MARSCHAK, TA. (1962): »Strategy and Organization in a System Development

Project«, in: National Bureau of Economics Research (1962) :509 ff.

MARTIN, W.H. (1924): »The Transmission Unit«, in: Trans.AlEE 11; 1924:797 ff.

MARTIN, W.H. (1931): »Rating the Transmission Performance of Telephone Circuits«, in: Bell Syst.Techn.J. 10; 1931:116 ff.

MASANI, P. (1966): »Wieners Contributions to Generalized Harmonic Analysis Prediction Theory and Filter Theory«, in. Bull.Am.Math.Soc.72; 1966,1, 11:73 ff.

MASER, S. (1973): »Grundlagen der allgemeinen Kommunikationstheorie«, Stuttgart; 1973

MASING, K.; H. FISCHER (1937): »Elektrochemische Laboratorien«, in. Siemens Zeitschrift 17; Juni 1937, 6:253

MASON, W.P. (1941): »Electrical and Mechanical Analogies«, in: Bell Syst. Tech.J. 20; 1941,2:405 ff.

MAYR, O. (1976): »The Science-Technology Relationship as a Historiographic Problem«, in: Technology and Culture 17; 1976,4:663 ff.

MACCARTHY, J.; C.E. SHANNON (1974): »Studien zur Theorie der Automaten München; 1974 (Dtsch.Ausg.von »Automata Studies«, Cambridge; 1956)

MCCLELLAND, H.M. (1945/46): »Electrical Communication in World-Wide Warfare - II. In the Air«, in: Bell Tel.Mag.24; 1945/46:73 ff.

MCCULLOCH, W.S. (1974): »Recollection of the many sources of Cybernetics«, in: ASC-Forum 6; 1974:2 ff.

MCHUGH, K.S.; G.L. BEST (1944): »The Bell Systems lnterest in Program Television«, in: Bell Tel.Mag.23; 1944,1:7 ff.

MCLAUGHLIN, J.L.; J.L. LAMB (1931): James L. Lamb: »What is this Thing Called ‚Dezibel'«, in: QST 15; 1931,8:31 ff.

MCLEOD, T.S. (1978): »Industrial Research and Development«, in: Enc.Brit.; 1978,15:740 ff.

MCNICOL, M. (1941): »Communications in World War I and World War II«, in: Communications 21; 1941,12:5 ff.

MEES, C.E. (1920): »The Organization of Industrial Scientific Research«, New York; 1920

MEES, K. C.; J.A. LEERMAKERS (1950): »The Organization of Industrial Scientific Research«, New York, London; 1950

MEGLA, G. (1947): »Friedensaufgaben der Dezimeter- und Zentimetertechnik«, in: Die Techn.2; 1947,4:195 ff.

MEINESZ, M. (1949): »Telecommunicatie met enkele Toepassingen uit de combinatieleer«, in. Elektrotechniek 27; 1949:96 ff., 116 ff.

- (1950): »Telecommunicatie«, in: Elektrotechniek 28; 1950:12 ff.

MELTZER, L.; J. SALTER (1962): »Organizational Structure and the Performance and Job Satisfaction of Scientists«, in: Am.Social.Rev.27; 1962: 351 ff.

MENTZ, A.(1926/27):«Die Fernkabelanlagen«, in. JB f.Post.v.Telegr., 1926/27: 209 ff.

- (1938): »Telegraphie und Telephonie«, in. Elektrotechn.Zeitschr.59; 1938, 25:680 ff.

MILLER, K.B. (1930): »Telephone Theory and Practice«, vol.1 »Theory and Elements«, New York, London; 1930

MILES, J. (1943): »Applications and Limitations of mechanical Analogies, New and Old«, in: J. Acoust.Soc.Am14;1943:113 ff.

MlLLS, J. (1925): »Bell Telephone Laboratories, Incorporated«, in: Bell Tel.Quart.4; 1925 R:94 ff.

- (1926): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Cooperation between the Colleges and the lndustry in Research«, in: Trans.AlEE 45; 1926:605

MlLLS, J. (1934): »Communication with Electrical Brains«, BeIl Tel. Quart.13; 1934,1:47 ff.

- (1944): »Scientific Research«, in: Bell Lab.Rec.23; 1944:316 ff.

- (1944a): »(Complexity)« in: Bell Lab.Rec.23; 1944:268

MOLINA, E.C. (1922): »The Theory of probabilities Applied to Telephone Trunking Problems«, in: Bell Syst.Techn.J.1; 1922:69 ff.

MONTGOMERlE, G.A.(1948): »Sketch for an Algebra of Relay and Contactor circuits«, in: J. lEE 95, 1; 1948:268 f.

MOOERS, C.N.: »Application of Random Codes to the Gathering of Statistical Information«, in. Zator Techn.Bull 31; 1949:29 ff.

MOORE, J B. (1955): »A New System of Logarithmic Units«, in: Proc.IRE 43; 1955:622

MOORE, E.F.; C.E. SHANNON (1956). »Reliable Circuits Using Less Reliable Relays«, in: J.of the Frankf.Inst.262; 1956/191 ff.

MÜLLER/FISCHER, E. (1959): »Zeittafel zur Geschichte des Post- und Fernmeldewesen«, in. Kleine Fachbuchreihe für den Post- und Fernmeldedienst, 45, Goslar, 1959

MÜNCH, H. (1930031): »Funkdienste und Wellenverteilung«, in: JB f. Post u. Telegr.; 1930/31:248 ff.

MURRAY, D. (1927): »Der Kampf zwischen der Verteiler-Vielfachtelegraphie und der Wechselstromtelegraphie«, in: Elektr.Techn.Zschr.28, 1927:1014 ff.

NAGEL, J. (1941/42): »Die Grundlagen für die Gestaltung großer Fernsprechnetze«, JB d.Fmw.; 1941/42:32 ff.

(NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH) (1962): »The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors«, Report of the National Bureau of Economic Research, New York; Princeton; 1962

(NATIONAL RESEARCH COUNClL) (NRC 1947): »Personnel and Training Problems Created by the Recent Growth of Applied Statistics in the United States«, Committee on Applied Math.and Statistics des NRC, NRC No.:128, Washington; 1947

- (NRC 1956): »Industrial Research Laboratories of the U.S.«, ed.: J.F. Mauk, NRC-Publik.379, Washington; 195610

(NATIONAL SCIENCE FOUNDATION) (NSF 1956): »Industrial Research Laboratories of the U.S.«, 10.Ed., J.F. Mauk, Washington; 1956

- (NSF 1957): »The Growth of Scientific Research in Industry 1945-60«, Washington; 1957

- (NSF 1964): »Comparison of Earned Degrees Awarded, 1901-1962«, National Science Foundation, NSF 64-60862, Washington, 1964

- (NSF 1965): »Research and Development in the Electrical Equipment and Communication lndustry, 1956-62«, in: Review of Data on Science Resources, 1; 1965,3:1 ff.

- (NSF 1968): »Employment of Scientists and Engineers in the U.S., 1950-1966«, NSF 68-30, Washington; 1968

NAUTA, D. (1970): »The Meaning of Information«, Den Haag, Paris; 1970

NlCHOLS, E. (1946): »Command Circuits«, in. Bell Tel.Mag.25; 1946, 1:101 ff.

NlENDORF, K.; K. BERGMANN (1942): »Theoretische Grundlagen der Telegraphen

und Fernsprechtechnik«, Zeitz; 1942

NIKURADSE, A. (1948): »Bemerkungen zur Ausbildung des Nachwuchses an den Technischen Hochschulen«, in: Arch.El.Übertr.2; 1948:169 ff.

NISSAU, A.H.: »Similarities and Differences between industrial and academic research«, in: Research Management 9, 1966, 4:211 ff.

NELSON, R.R. (1962): »The Link Between Science and Invention: The Case of the Transistor«, in: National Bureau of Economics Research (1962): 549 ff.

NYQUIST, H. (1924): »Certain Factors Affecting Telegraph Speed«, in: Bell System Tech.J.3; 1925:324 ff.

NYQUIST, H. (1928): »Certain Topics in Telegraph Transmission Theory«, in: Trans.AlEE 47; 1928:617 ff.

- (1928a): Thermal Agitation of electric charge in conductors,in: Physical Review 32, 1928:110 ff.

- (1932): »Regeneration Theory«, in: Bell Syst.Tech.J. 11; 1932:126 ff.

NYQUIST, H.; R.B. SHANCK; 5.1. CORY (1927): »Measurement of Telegraph Transmission«, in: Trans.AIEE, 45; 1927:367 ff.

O'BRIEN, J.B. (1924): »The Transmission of Pictures over Telephone Wires«, in: Bell Tel.Quart.3; 1924,3:186 ff.

- (1925): »The Quarterly as seen by its readers«, in: Bell Tel.Quart.4; 1925,1:51 ff.

(OECD) (1968): »Wissenschaftspolitik in den Vereinigten Staaten«, OECD-Studie (dtsch). Kiel; 1968

OHNESORGE, W. (1941/42): »Der Fernmeldedienst der Deutschen Reichspost im Kriege«, in: JB d.Fmw.; 1941/42:9 ff.

OKADA, S. (1954): »On the Information Invariant«, in: Bull.of Yamagata Univ. 3; 1954:95 ff.

- (1956): »On the Information Invariant«, in: IRE Trans.I.Th., lT-2; 1956: 95

OKADA, S. und 5. HUJlKI (1940): »The Intrinsic Substance and Metrization of Communication«, in: Nippon El.Comm.Eng.21; 1940:64

OLIVER, B.M.; J.R. PIERCE; C.E. SHANNON (1948): »The Philosophy of PCM«, in: Proc.IRE 36; 1948:1324 ff.

OLIVER, J.W. (1959): »Geschichte der amerikanischen Technik«, Düsseldorf, 1959

PAGE, A.W. (1932): ed. : »Modern Communication«, New York, Boston; 1932

- (1941): »The Bell Telephone System«, New York, 1941

PATTERSON, C. (1947): »Summarizing Review«, in: J.lEE 94, lIlA; 1947,11:16 ff'

PEARSON, E.S.; M.G. KENDALL (1970): Studies in the History of Statistics and probability, Griffin, London, 1970

PEIRCE, C.S'. (1960): »Collected Works« vol.1-6, Cambridge; 1960

PELZ, P.C.; F.M. ANDREWS (1966): »Scientists in 0rganizations«, New York; 1966

PERRINE, J.O. (1925): »The Development of the Transmission Circuit in Communication«, in: Bell Tel.Quart.4; 1925,2:114 ff.

- (1934): »Adventures in Communication«, in: Bell Tel.Quart.13; 1934,3: 300 ff.

PETERS, J. (1967): »Einführung in die allgemeine Informationstheorie«, Berlin, 1967

PETRITSCH, E.F. (1930): »Technisches Hochschulwesen und Ingenieurausbildung in den Vereinigten Staaten Amerikas«, in: Europäischer Fernsprechdienst 17;1930/139 ff.

PFEIFFER, J.E. (1949): »Office of Naval Research«, in: Scient.Amer.180;1949: 11

PHILIPPOW, E. (1969) :»Handbuch der Elektrotechnik«, Bd.3: »Nachrichtentechnik«, Berlin; 1969

PHlLlPPS, H.B. (1943): »Applied Mathematics«, in: Am.Math.Mon.50; 1943,4: 307 ff.

PIERCE, J. (1957): »What good is Information Theory to Engineers?« in: IRE Nat.Conv.Rec.5; 1957,2:51 ff.

- (1965): »Phänomene der Kommunikation«, Düsseldorf, 1965

- (1967): »A Survey of Information Theory«, in: Zwicky e.a. (1967):135 ff.

- (1968): »Information theory«, in: Beil Lab.Rec.46; 1968:47 ff

- (1973): »The Early Days of Information Theory«, in: IEEE Trans.on lnf.Th. IT-19; 1973:3 ff.

PlERCE, R.E.; E.W. BEMIS (1936): »A Transmission System for Teletypewriter Exchange Service«, in: Bell Syste.Tech.J. 15; 1936:529 ff.

PlLLIOD, J.J. (1923): »Engineering the Long Lines«, in: Bell Tel.Quart.2; 1923,1:18 ff.

PILLIOD, J.J.; H.R. RYAN (1945): »Operator Toll Dialing - A New Long Distance Method«, in: Bell Tel.Mag.24; 1945:101 ff.

PIORE, E.R. (1947): »The Electronic Research Sponsored by the Office of Naval Research«, in: Proc.IRE 35; 1947:1119 ff.

POCOCK, L.C. (1948): »A Survey of the Telephone Transmission-Rating Problem«, inJ.lEE 95,1; 1948:324 ff.

(POEEJ)(1956): 50th Anniversary Jubilee Ausg.des Post Office Electr.Eng. Journ. 49;1956,darin: »The Growth of Telecommunication Service in the U.K.«.161 ff »Research«:236 ff.

PORTER, A. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über Douch (1947):202

POSTAN, N.M. (1964); D. HAY; J.D. SCOTT: »History of the Second World War:

Design and Development of Weapons, Studies in Government and Industrial Organization«, London, 1964

PRATT, F. (1939): »Secret and Urgent«, Indianapolis, 1939

PRICE, G.B. (1943): »Adjustments in Mathematics to the lmpact of War«, in: Am.Math.Mon.50; 1943,1:31 ff.

PRICE-HUGHES, H.A. (1946) ed. : »BTH-Reminescences: 60 Years of Progress« British-Thomson-Houston Co. ;1946

PROBST, E. (1926): »Eindrücke von einer Studienreise durch die USA«, in: Ztschr.VDI 70;1926,6:183 ff.

PUTNAM, T.R. (1946): »Systems Development of Military Communications«, in: Trans. AlEE 65; 1946:757 ff.

QUARLES, D.A. (1946): »Radar Systems Considerations«, in: Trans.AIEE 65; 1946:209 ff.

RAGGAZZINl, J.R. (1962) und 5.5. CHANG: »Noise and Random Processes«, in: Proc.IRE 50; 1962:1146 ff.

RAECK, F. (1939): »Die geschichtliche Entwicklung des Zeilensprungverfahrens «, in: Fernsehen und Tonfilm 10; 1939,4:25 ff.

RAMSAUER, C. (1943): »Die Schlüsselstellung der Physik für Naturwissenschaft, Technik und Rüstung«, in. Die Nat.Wiss.31; 1943, 25/26:285 ff.

- (1947): »Die zentrale Stellung der Physik in der lngenieurausbildung«, in: IKIA - Internationaler Kongress für Ingenieurausbildung, 31.7.-9.8. 1947, Roether, Darmstadt; 1949:233 ff.

- (1949): »Physik - Technik - Pädagogik. Erfahrungen und Erinnerungen Karlsruhe; 1949

RANDALL, B. (1972): »On Alan Turing and the Origins of Digital Computers«, in: »Machine Intelligence«, Edinburgh; 1972:3 ff.

- (1973): »Origins of Digital Computers«, Berlin, Heidelberg, New York, 1973

REDMAN, J.R. (1945/46): »Electrical Communication in World-Wide Warfare - III. At Sea«, in. Bell Tel.Mag. 24; 1945/46:85 ff.

REES, R.l.; R.W. KING (1924): »Communication Engineering and Electrical Curricula«, in: Bell Tel. Quart.3; 1924,4:249 ff.

REGER, W.; H. RUDOLPH; W. VOLLMEYER (1967): »Übertragungstechnik«, in: Steinbuch (1967).. 842 ff.

RECHE, K. (1937): »Über die Entwicklungsarbeit und die Forschung der Siemens und Halske AG«, in: Siemens Ztschr.17; 1937,3:111 ff.

RECHENBERG, 1. (1973): »Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution«, Stuttgart; 1973

REICHENBACH, H. (1931): »Das Kausalproblem in der Physik«, in: Die Nat.wiss. 19; 1931,34: 713 ff.

REICHERT, P. (1955) Die Ausbildung des Ingenieurnachwuchses in den USA, Zeitschr.d.UDr. 97; 1955:60 ff.

REID, D.G. (1947): »A 60 cm Multi-Channel System ernploying Pulse-Phase Modulation«, in. J.IEE 94,lIIA; 1947:573 ff.

REIMANN, H. (1968): »Kommunikations-Systeme. Umrisse einer Soziologie der Vermittlungs- und Mitteilungsprozesse«, Tübingen; 1968

REISSER, W. (1930): »Bildfunk, Fernsehen und Tonfilm«, in: Rundfunk JB; 1930:299 ff.

RENTZEL, D.W. (1945): »Aviation Communication Systems«, in. El.Eng.64; 1945, 11:387 ff.

(RLE) (1966); »RLE:1946+20« MIT, Res.Lab.of Electronics Report, Cambridge, 1966

REUTER, F. (1971): »Funkmeß - Die Entwicklung und der Einsatz des Radarverfahrens in Deutschland biszum Ende des 2. Weltkrieges«, Opladen; 1971

REYNOLDS, F.W. (1936): »A New Telephotograph System«, Bell Syst.Tech.J.15; 1936:549 ff.

RHODES, F.L. (1926): »Details Multiply«, in: Bell Tel.Quart.5; 1926,1:78 ff.

RIBBECK, H. (1937): »Die Vorbereitung und Durchführung von Rundfunkübertragungen«, in: JB d.Fmw.; 1937:190 ff.

RICE, S.O. (1944/45): »Mathematical Analysis of Random Noise«, in: Bell Syst.Tech.J. 23; 1944:282 ff. und 24; 1945:46 ff.

RICHARDSON, R.G. (1943): »Advanced Instruction and Research in Mechanics«, in: Am.J.Phys.11; 1943,2:67 ff.

- (1943a): »Applied Mathematics and the Present Crisis«, in: Am.Math.Mon. 50; 1943,7:415 ff.

RICHTER, F.E. (1925): »The Telephone as an Economic Instrument«, in: Bell Tel.Quart.4, 1925,4:281 ff.

RlDENOUR, L.N. (1946): »Radar in War and Peace«, in: El.Eng.65; 1946,5:202 ff.

RINDFLEISCH, H. (1948): »Über die Möglichkeit der Zeichenbildung mittels Telegrafieimpulsen«, in: Arch.Elektr.Übertr.2; 1948:321 ff.

RING, F. (1952): »Die verschiedenen Modulationsarten, ihre Anwendung und ihre Aussichten«, in. JB d.el.Fmw.; 1952:160 ff.

RIORDAN, J.; C.E. SHANNON (1942): »The Number of two Terminal Series parallel Networks«, in: J.of Math.and Phys.21; 1942:83 ff.

ROCKETT, F. (1948): »Effect of Modulation on Transmission Efficiency«, in: Electronics, 21; 1948,1:136 ff.

ROBERTS, E.B. (1964): »The Dynamics of Research and Development«, New York, London, 1964

ROBINSON, J. (1947): »International Automatic Telegraph Networks«, in: J. Brit.lRE 7; 1947,7:266 ff.

RODDAM, T. (1949): »Communication Theory: 0ld and New«, in: Science News, (ed.J.L. CRAMMER) 12; 1949:105 ff.

- (1949a): »Communication Theory«, in: Wireless World 55; 1949:162 ff.

RODER, H. (1930) : »Über Frequenzmodulation«, in: Telef.Zeitg.10; 1930,53:48 ff. - (1937): »Noise in Frequency Modulation«, in:Electronics, 10; 1937:22 ff.

ROHRBACH, H. (1948): »Chiffrierverfahren der neuesten Zeit«, in: AEU 2; 1948:362 ff.

ROMNES, H.I. (1945): »The messages go through in many ways«, in: Bell Tel. Mag.24; 1945,3/203 ff.

ROOT, W.L. (1966): »Contributions of Norbert Wiener to Communication Theory«, in: Bull.Am.Math.Soc.72; 1966,1-11:126 ff.

ROSE, AF. (1938): »Twenty Years of Carrier Telephony«, Bell Tel.Quarterly 17; 1938:245 ff.

ROSENBLITH, W.; J. WlESNER (1966): »From Philosophy to Mathematics to Biology«, in: Bull.Am.Math.Soc.72; 1966,1 11:33 ff.

ROSENBLOOM, S. (1978): »Technological Innovation in Firms and Industries: An Assessment of the State of the Art«, in: »Technological Innovation«, ed. J. KELLY, M. KRANZBERG, San Francisco; 1978:215 ff.

ROSENBLUETH, A.; N. WIENER (1945): The Role of Models in Science, in: Phil. of Sc.12; 1945:316 ff.

ROWE, A.P. (1948): »One Story of Radar«, London; 1948 (RPZX1929): »Das Reichspostzentralamt - Ein Erinnerungsbuch«, Berlin; 1929

RUBlNOFF, M. (1953): »Analogue-vs. Digitalcomputers - A Comparison« in: Proc.IRE 41, 1953:254 ff.

SALINGER, H. (1925): »Die Heavisidesche Operatorenrechnung«, in: Elektr. Nachr.Tech.2; 1925:365 ff. in: ENT, Bd.2 (1925):365-376

- (1927): »Wodurch wird die Telegrafiergeschwindigkeit bestimmt?« in: Mitt. aus TRA 13; 1927:296 ff.

- (1930): »Heinrich-Hertzinstitut für Schwingungsforschung in Berlin«, in: Telegr. und Fernspr.Tech.7; 1930:216 ff.

SALINGER, H.; H. STAHL (1933): »Über die Berechnung der Telegrafiegeschwindigkeit«, in: El.Nachr.Tech.10; 1933:466 ff.

SANDERSON, M. (1972): »The universities and British Industry. 1850-1970«, London; 1972

SAUTTER, E.W. (1928/29): »10 Jahre Aufbau des deutschen Post- und Telegraphenwesens«, in: JB f. Post u.Telegr.; 1928/29:1 ff.

SAUTTER, K. (1951): »Geschichte der Deutschen Post«, Teil 3: »Geschichte der Deutschen Reichspost 1871-1945«, Frankfurt/M.; 1951

SCHAEFER, H. (1937/38): »Zur kulturellen Standortfrage des Rundfunks«, in: JB Weltrundfunk; 1937/38:112 ff.

SCHÄFER, W. (1978): »Normative Finalisierung. Eine Perspektive«, in: Starnberger Studien (1978) :377 ff.

SCHANZ, G. (1972): »Forschung und Entwicklung in der elektrotechnischen Industrie«, Diss., Mannheim; 1972

SCHMIDT, K.0. (1939): »Ergebnisse und Aussichten zur Zusammendrängung des Frequenzbandes«, in: JBel.Fmw.; 1939:150 ff.

- (1940/41): »Die Beeinträchtigung der Verständlichkeit im Fernsprechverkehr durch Geräusche«, in: JB el.Fmw.; 1940041/110 ff.

- (1941): »Ein Beitrag zur Frage der Frequenzbandbreite bei der elektrischen Übertragung von Sprache«, in: Postarchiv 69; 1941,3:230 ff.

- (1943): »Grenzen für die Verbesserung der Verständlichkeit im Fernsprechverkehr«. in: Telegr., Fernspr., Funk u. Ferns.tech. 32; 1943:54 ff.

SCHNEIDER, E.G. (1946): »Radar«, in. Proc.IRE 34; 1946:528 ff.

SCHRÖDINGER, E. (1929): »Der Erfassung der Quantengesetze durch klassische Funktionen«, in: Die Nat.-wiss.17; 1929,.26: 486 ff.

SCHULZ, H. (1925): »Oliver Heaviside«, in: Telegr.Fernspr.Tech.14; 1925,4: 116 ff.

- (1934): »Die Fernsprechbetriebsmaße - Ihre Entstehung, Bedeutung, Kritische Würdigung und Verallgemeinerung«, in: Europ.Fernspr.Dienst 37; 1934: 229 ff.

SCHUTZENBERGER, M.P. (1951): »On the Relations Between Amount of Information in the Sense of Fisher and in the Sense of Wiener«. in: Compt.Rend.Acad. Sci. Paris; 16.3.1951;925 f.

SCHWARTl, E. (1947): »Frequenzmodulation«, in: Arch.El.Ubertr.1; 1947:220 ff.

SCROGGlE, MG. (1931): »The Decibel«, in: Wireless World 29; 1931:85 ff.

SEACORD, K.P. (19.3.1920): »Study of Telephone Quality«, BAA, C.320311,vol.1; 19.3.1920

SHANNON, C.E. (1942): »Mathematical Theory of the Differential Analyzer«, in: J.of Math.and Phys.15; 1942,4:337 ff.

- (1948): »A Mathematical Theory of Communication«, in: Bell Syst.Tech.J. 27; 1948:379 ff., 623 ff.

- (1949): »Communication in the Presence of Noise«, in: Proc.lRE 37; 1949: 10 ff.

- (1949a): »Communication Theory of Secrecy Systems«, in: Bell Syst.Tech. J. 28; 1949:656 ff.

- (1950): »Programming a Computer for Playing Chess«, in: Phil.Mag.41; 1950:256 ff.

- (1950a): »Memory Requirements in a Telephone Exchange«, in: Bell Syst. Tech.J. 29; 1950:343 ff.

- (1951): »Prediction and Entropy of Printed English«, in: Bell Syst. Tech.J. 30; 1951:50 ff.

- (1953): »Computers and Automata«, in: Proc.IRE 41; 1953:1234 ff. -(1956): »The Bandwagon«, in: IRE Trans.on lnf.Th. lT-2; 1956:3

SHANNON, C.E.; W. WEAVER (1949): »The Mathematical Theory of Communication«, Chicago; 1949

SHANNON, C.E. (1950b): »A Symmetrical Notation for Numbers«, in: Am.Math. Mo.57; 1950,2:90 ff.

- (1938): »A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits«, in: Trans. AlEE 57; 1938:713 ff.

SHAW, R.R. (1949): »The Rapid Selector«, in: J. Doc.5; 1949,3:164 ff.

SHAW, T. (1944): »The Conquest of Distance by Wire Telephony«, in: Bell Syst.Tech.J.23; 1944:337 ff

SHEAHAN, J. (1956): »Integration and Exclusion in the Telephone Equipment lndustry«, in: Quart.J.of Econ.70; 1956,2:249 ff.

SHEPARD, MG. (1948): »Qualifications, Training, Aptitudes and Attitudes of Industrial Research Personnel«,in: Furnas (1948):195 ff.

SHERMAN,H. (1954): »The Role of the Military Laboratory in Electronics Research and Development«, in: IRE Trans.on Engin.Man., PGEM-1; 1954:30 ff.

SHEWART, W.A. (1931): »Economic Control of Quality of Manufactured Product« New York; 1931

SIEMENS, G. (1961): »Der Weg der Elektrotechnik. Geschichte des Hauses Siemens«, München; 1961[2]

(SIGNAL CORPS) (1957): »United States Army in World War II. The Technical Services. The Signal Corps, II: The Test (Dec.1941 to July 1943)«, G.R. THOMPSON, D.R. HARRIS, P.M. OAKES, D. TERRETT, Washington, 1957

SIMON, H.A. (1947): »Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization«, New York, 1947

SINGER, F.J. (1948): »Military Teletypewriter Systems of World War II«, in: Trans.AIEE 67; 1948:1398 ff.

SLEEPER, M.B. (1947): »The Need for clear Terminology «, in: Proc.lRE 35; 1947:508 f.

SLEPIAN, D. (1973): »Information Theory in the Fifties«, in: lEEE Trans. Inf,Th. lT-19; 1973:145 ff.

- (1974), ed.: »Key Papers in the Development of Information Theory«, New York; 1974

SLEPIAN, J. (1948): »The Mathematician, the Scientist, the Engineer«, in: El.Eng.67; 1948,3:261 ff.

SMALE, J.A. (1947): »Some Developments in Commercial Point-to-Point Radiotelegraphy«, in: J.IEE 94, lIlA; 1947,12:345 ff.

- (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Long-Distance Point-to-Point Communication«, in: J.IEE 94, lIlA; 1947,12:397

SMITH, R.A. (1947): (TRE) »A Survey of the Development of Radar«, in: J. lEE 94, 1; 1947,76:172 ff.

SOTSCHEK, J. (1975): »Gegenwärtiger Stand der Sprachgütemessung«, in: Nachr.Techn.Zschr.28, 1975,9:K343 ff.

SPIEGEL-RÖSING, 1.5. (1973): »Wissenschaftsentwicklung und Wissenschaftssteuerung«, Frankfurt/M. ; 1973

STAHL, H. (1931): »Die unmittelbare Übertragung telegrafischer Nachrichten zwischen Privaten«, in: Europ.Fernspr.Dienst 25/26; 1931:350 ff.

- (1933): »Fernschreibvermittlungsverkehr«, in: Europ.Fernspr.Dienst 33; 1933:167 ff.

STARNBERGER STUDIEN (1978): »Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschrittes«, Frankfurt; 1978

STEIMEL, K. (1963): »Der Standort der Industrieforschung in Forschung und Technik«, Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes NRW, Heft 12«, Köln, 1963

STEIMEL, K.; M. MACHLUP (1963): »Forschung und Technik«, in: Reihe der Arb.gem. für Forschung des Landes NRW, 122, Köln; 1963

STEINBUCH, K. (1966): »Die informierte Gesellschaft«, Stuttgart; 1966

- (1967): »Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung«, Berlin, Heidelberg, New York; 1967[2]

STEWART, G. (1931): »Problems suggested by an Uncertainty Principle in Acoustics«, in: J. Acoust.Soc.Am.2; 1931:325 ff.

STEWART, I. (1948): »Organizing Scientific Research for War«, in: Reihe »Science in World War II«, Boston; 1948

STIBITZ, G.R. (1957); J.A. LARRIVEE: »Mathematlcs and Computers«, New York; 1957

STONE, J.S. (1904): »Theory of Wireless Teleraphy«, in: Electr.Rev.; 15.10. 1904, Abdruck in: Proc.lRE 36; 1942:307 ff.

STONOR, F.D. (1945): »Standardization of the 5-unit Code« (1945): Wiederabdruck in: Robinson (1947):279 ff.

STORCH, P. (1937): »Anwendung der Fernschreibtechnik im In- und Ausland«, in: JB el.Fmw.; 1937:159 ff.

STRATTON, J.A. (1966): »RLE - The Beginning of an Idea«, in. RLE (1966):1 ff.

STRECKER, F. (1935): »Nachrichtenfluß und Frequenzbandbreite«, in: Veröffentlichungen aus d.Geb.d. Nachr.Tech., Siemens & Halske, 5; 1935,4: 227 ff.

- (1939): »Fernsprechen, Fernschreiben und Fernsehen über Leitungen«, in: Elektrotech.Ztschr.60; 1939,8:214 ff.

STRONG, C.E. (1948): »Postiion finding by Radio: First thoughts on the Classification of Systems«, in: J.IEE 95, 1; 1948:31 ff.

STRUTZ, H. (1976): »Wandel industriebetrieblicher Organisationsformen Stuttgart; 1976

STURLEY, K.R. (1978): »Radio«, in: Enc.Brit.; 1978,15:427 ff.

SULLIVAN, M.R. (1942): »The Organization of Large Scale Engineering Work« in: Bell Tel. Mag.21; 1942,3:170 ff.

- (1945): »Looking Ahead in the Bell System«, in: Bell Tel.Mag.24; 1945: S ff.

SWAlN, D.C. (1967): »Organization of Military Research«, in: »Technology in Western Civilization«, II, ed. M. KRANZBERG, C.W. PURSELL, New York; 1967:535 ff.

SWEZEY, B.S. (1947): »Automatic Carriage Return for Radio Teletypewriters«, in: Bell Lab.Rec.26; 1947:307 ff.

SYSKl, R. (1955): »Analogies between the Congestion and Communication Theories«, in: Autom. Teleph. Electr.Co. - Journal 11; 1955:220 ff.

- (1960): »Congestion in Telephone Exchanges«, in: »Symposium on Information -Theory«, London 1960, ed. C.CHERAY, London; 1961:85 ff.

SZlLARD, L. (1929): »Uber die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen«, in: Ztschr.f.Physik 53; 1929:840 ff.

TEICHMANN, H. (1942): »Gedanken zur Überwindung des Relativismus in der Physik«, in: Geist d. Zeit; 1942,1:19 ff.

TERMAN, F.E. (1930): »Some Possibilities of Intelligence Transmission, when using a limited Band of Frequencies«, in: Proc.IRE, 18, 1930,1:167 ff

- (1976): »A Brief History of Electrical Engineering Education«, in: Proc. IEEE 64; 1976,9:1399 ff

THAYER, H.B. (1924): »Evolution - not Revolution«, in: Bell Tel.Quart.3; 1924,3:133 ff

THAYER, H.B. (19257): »The Development of Development and Research«, in: Bell Tel.Quart.4; 1925,1:2 ff.

THEDIECK, R. (1956): »Betriebswissenschaftliche Organisationsformen industrieller Forschungsinstitute«, Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung des Landes NRW, Heft 18, Dortmund, 1956

THUN, R. (1932): »Die Bedeutung des Programms für einen Erfolg des Fernsehens«, in: Ferns.u.Tonfilm 3; 1932,3:134 ff.

THOMPSON, W.G. (1949): »The Coordination of Research and Production«, in: Proc.IEE 96, 1; 1949:21 ff.

THOMSON, J.; J. DENLY; I.RlCHMOND; F. PUGLIESE; H.BORG (1947): »UHF Techniques Applied to Mobile and Fixed Communication Services«, in: J.IEE 94, lIlA; 1947,11:107 ff.

TISCHNER, H. (1941): »Mathematische Darstellung von Steuermechanismen«, in: TFTechn.u.Elektroak.58, 1941:145 ff

TOULMIN, 5. (1972): »Human Understanding«, 1, Princeton, N.J.; 1972

- (1974): »Ist die Unterscheidung zwischen Normalwissenschaft und revolutionärer Wissenschaft stichhaltig?« in: Lakatos, Musgrave (1974):39 ff

(TRA-BERICHT) (1925): »Bericht über die Tätigkeit des Telegraphentechnischen Reichsamtes in den Jahren 1922, 1923, 1924«, in: Telegr.u.Fernspr.Tech 14; 1925,a:245 ff

TRENDELENBURG, F. (1975): »Aus der Geschichte der Forschung im Hause Siemens«, in: Technikgeschichte in Einzeldarstellungen, 31, Düsseldorf; 1975

TRITZ, J. (1939): Die Forschungsanstalt der deutschen Reichspost (Entstehung, Aufgaben, Aufbau), in: Dtsch.Post 63; 1939, 26:781 ff

TRUXAL, J.G. (l962): »Feedback and Systems Engineering«, in: IRE Trans.on Engin.Educ.; 1962:82 ff

TRYTTEN, M.H. (1945): »Staffing Science Departments after the war«, in: Science 101; 1945, 2616:172 ff.

TUKEY, J.W. (9.1.1947): »Sequential Conversion of Continous Data to Digital Data«, BAA, C.20878; 9.1.1947

TULLER, W.G. (l949): »Theoretical Limits on the Rate of Transmission of Information«, Proc.IRE 37; 1949:468 ff.

TUSKA, C.D. (1944): »Historical notes on the determination of distance by timed radio waves«, in: J.Frank lnst.237; 1944:1 ff, 83 ff

ULAM, 5. (1958): »John von Neumann, 1903-1957«, in: Bull.Am.Math.Soc.64; 9158,3 11:1 ff

VALENSI, G. (1965): »Die Entwicklung des Internationalen Fernsprechens. Die Geschichte des Internationalen Beratenden Komitees für den Fernsprechdienst (CCIF) 1924-1956«, Übersetzg. aus Telecomm.Journ.; 1965,1:9 ff. in: SAA 6/ LP 156

VAN ATTA, L.G. (1950): »The Role of Professional Groups in the IRE«, in: Proc.IRE vol.38; 1950,10:1124 ff.

VAN TASSEL, D. (1976), ed. : »The Compleat Computer«, Chicago; 1976

VILBIG, F.; K.H. HAASE (1956): »Über einige Systeme zur Sprachbandkompression«, in: Nachr.tech.Fachber.3; 1956:81 ff

VILLE, J. (1948): »Theorie et application de la notion de signal analytique«, in: Cables et Transmission 2; 1948:61 ff

VILLE, J. (1950): Signaux analytiques a spectre borne, in: Cables et Transmission 4; 1950:2 ff

VON BERTALANFFY (1969): »General Systems Theory«, New York 1969

VON HANDEL, P. (1952): »Beitrag zum Thema ›Forschung und militärische Führung‹ «, in: Wehrkunde 1; 1952,14:3 ff

VON KARMAN, T. (1930): »Mathematik und Technische Wissenschaften«, in: Die Nat.wiss.18; 1930,1:12 ff

VON MISES, R. (1930): »Über kausale und statistische Gesetzmäßigkeit in der Physik«, in: Nat.wiss.l8; 1930,7:l34 ff

- (1930a): »Über das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart«, in: Nat.Wiss.18; 1930,43:885

VON NEUMANN, J. (1974): »Wahrscheinlichkeitslogik und der Aufbau zuverlässiger Organismen aus unzuverlässigen Bestandteilen«, in: McCARTHY, SHANNON (1974):57 ff.

VON NEUMANN, J.; O.MORGENSTERN (1971): »Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten«, Würzburg 1961

VON OKOLISCANYl, F. (1930): »Fernsehen und Rundfunkfrequenzband«, in: Fernsehen 1; 1930,4:160 ff.

WAGNER, K.W. (1927): »Zur Geschichte der elektrischen Siebketten«, in: Arch.f.Elektrotech.18: 1927:78 ff

(WAGNER, K.W.)(l927): »K.W. Wagner schied aus seinem Amt als Präsident des TRA«, in: Telegr.u.Fernspr.Tech.9; 1927:272

WALKER, E.A. (1945): »Depletion of Ranks of Scientific Students«, in: Elec.Eng.64; 1945,8:313

WALLACE, E.U. (1934)ß »Network Broadcasting. II. Operating the Networks«, in: Bell Tel.quart.13; 1934:98 ff.

WALLOT, J. (1943): »Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik«, Berlin; 19433 (1.Auflage:1931)

WARD, J.C. (1945): »The lnfluence of Research on Victory«, in: Elec.Eng.64; 1945,4:133 ff.

WARREN, H. (1934): »Research in Manufacture Laboratories and their Organisation«, in: Electrician, 112; 12.1.1934:31 ff.

WATERMAN, A.T. (1952): »The National Science Foundation in Relation to Basic Engineering Research«, in: J.of the Am.Soc.of Naval Engs.64; 1952:639 ff.

- (1955): »A National Survey of Scientific Research and Development«, in: Elec.Eng.74; 1955:654 ff.

WATERSON, K.W. (1926): »Functions and Management Problems of the Traffic Department«, in: Bell Tel.Qu.5; 1926,4:203 ff.

WATSON-WATT, R. (1946): »The evolution of Radio Location«, in: J.IEE 93,1; 1946, 69:374 ff.

- (1954): »Resume of the Origins, Development and Applications of Radar in Great Britain«, in: Bücherei der Funkortung, vol.2 »Funkortung in der Luftfahrt«, 1. »Zur Geschichte der Funkortung«. Fachtagung 1953; Darmstadt; 1954:32 ff.

- (1954a): »Die Geschichte des Radar in der britischen Schiffahrt«, in: SAA LA 106; um 1954 (undatiert)

- (1959): »The Pulse of Radar«, London; 1959

WEAVER, W. (1970): »Scene of Change: A Lifetime in American Science«, New York; 1970

WEINBERGER, J. (1939) »Basic Economic Trends in the Radio lndustry«, in: Proc.lRE 27; 1939:704 ff.

WEINGART, P. (1972) :ed. : »Wissenschaftssoziologie. 1. Wissenschaftliche Entwicklung als sozialer Prozeß«, Frankfurt/M.; 1972

WEINGART, P. (1976): »Wissensproduktion und soziale Struktur«, Frankfurt/ M.; 1976

WESTON, J.D. (1949): »A Note on the Theory of Communication«, in: Phil. Mag.Ser.7, 40; 1949,303:449 ff.

WHEELER, G.J. (1978): »Radar«, in: Enc.Brit.; 1978,15:368 ff.

WHITTAKER ,E .t(1915) : On the functions which are represented by the expansions of the interpolatory theory, Proc.Roy.Society Edin.35;1915:181 f.

WHITTEMORE, L.E. (1957): »45 Years in servicel«, in: Proc.IRE 45; 1957:40 ff.

- (1962): »The Institution of Radio Engineers - 50 Years of Service« , in: Proc.IRE 50; 1,962-534 ff.

WICKENDEN, WE. (1926): »Research Relations between Engineering Colleges and Industry«, in: Trans.AIEE 45; 1926:600 ff.

- (1945): »Goals in Engineering Education«, in: El.Eng.64; 1945,2:65 ff.

WIENER, N. (AUTOB.): »Ich und die Kybernetik«, München; ohne Dat. Goldmann-Verlagsnr. 283O (Dtsch.Fassung von »Ex prodigy« und »I am a Mathematician«)

WIENER, N. (1930): »Generalized Harmonic Analysis«, in: Acta Math.55; 1930: 117 ff.

- (1949a) :»The Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series«, New York; 1949 (leicht geänderte Version von Wiener (1942))

- (1949): »A New Concept of Communication Engineering«, in. Electronics 22; 1949:74 ff.

- (1956): »What is Information Theory«, in: IRE Trans.Inf.Th.IT-2; 1956:48

- (1971): »Kybernetik« (Dtsch.Ausgabe von »Cybernetics«, (1948) Hamburg; 1971

WIESNER, J.B. (1949): »Statistical theory of communication«, in: Proc.Nat.Elec. Conf.5; 1949:335 ff.

WIESNER, J.B. (1966): »The Communication Sciences - Those Early Days«, in: Res.Lab.Elec.(1966):12 ff.

WILFORD, J.N. (1971): »Holography - A Long Time Dream«, in: N.Y. Times; 3.11.1971:28

WILKINSON, R.I. (1956): »Beginnings of Switching Theory in the United States«, in: El.Eng.75; 1956:79 ff.

WILKS, S.S. (1947): »Personnel and Training Problems in Statistics«, in: Am. Math.Mon.54; 1947:525 ff.

WINKLER, H. (1932): »Der Konzern der International Tel.and Tel.Co., New York«, in: Elektrotechn.Ztschr.53; 1932:399

WOODWARD, P.M. (1951): »Time and Frequency Uncertainty in Waveform Analysis«, in: Phil.Mag.42; 1951:883 ff.

WUSTENEY, H. (1936): »Die Begriffsbestimmung der Telegrafiergeschwindigkeit«, in: Telegr., Fernspr.u.Funk.Tech 25; 1936:339 f.

YOUNG, H.S. (1947): Diskussionsbeitrag in Diskussion über »Applications in the Military Sphere«, in. J.IEE 94, IIA; 1947,2:204

YOUNG, J.F. (1975): »Einführung in die Informationstheorie«, München, Wien; 1975

ZADEH, L.A. (1962): Diskussionsbeitrag in Diskussion über Truxal (1962):85

ZEIDLER, F. (1939): »Das Block-Diagramm, eine neue Hilfe für die Übersicht«, in: AEG Mitt.5; 1939:257 ff.

ZEMANEK, H. (1952): »Informationstheorie«, in: Radiotechnik 28; 1952,8:334 ff. 9:377 ff., 10:426 ff., 11:461 ff. , 12:501 ff.

ZIEBER, W.E. (1948): »Organization Charts in Theory and Practice«, in: Furnas (1948): 71 ff.

ZIEGLER, M. (1937): »Die Ursachen des Rauschens in Verstärkern«, in: Philipps Techn.Rdsch., R; 1937, 5:136 ff.

ZUSE, K. (1970): »Der Computer, mein Lebenswerk«, München; 1970

ZWICKY, F. (1971): »Entdecken, Erfinden, Forschung im morphologischen Weltbild«, München, Zürich; 1971

ZWICKY, F. AG. WILSON (1967): »New Methods of Thought and Procedure«, New York; 1967

LEBENSLAUF

Friedrich-Wilhelm Hagemeyer, geboren am l6.Xl.47 in Vitte auf Hiddensee

1954-61 Schulbesuch in Berlin (West)

1961-62 Schulbesuch in Vitte/Hiddensee

1962-64 Schulbesuch in Berlin (Ost)

1964-67 Berufsausbildung zum Chemiefacharbeiter, Abitur VEB ,,Berlin Chemie", Berlin (Ost)

1967-73 Studium der Physik, Universität Greifswald (DDR) Diplom, Thema: Walsh-Funktionen, Note: Gut

1973-74 Arbeitslosigkeit in der DDR, Beantragung der Familienzusammenfiihrung

Dez.1974 Ubersiedlung nach Berlin (West)

Beantragung eines Promotionsstinendiums an der FU Berlin

Jan.1975-Jul.1975 Tätigkeit als Mathematiker in der Forschung der Schering AG, Berlin; Thema: Biometrie und Statistik

Seit Aug.1975 Studium und Promotionsverfahren an der FU Berlin, Thema: Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik

Jan.1977-Jun.l977 Von der Fritz-Thyssen-Stiftung geförderte Studienreise in die USA